

Kunsthochschule für Medien Köln
Bereich Kunst- und Medienwissenschaften

FEEDBACKMASCHINEN

Kybernetik und Interaktion

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Philosophie (Dr. phil.)
im Fach Experimentelle Informatik

vorgelegt von
LASSE SCHERFFIG
Köln, Oktober 2014

Lasse Scherffig: *Feedbackmaschinen*, Kybernetik und Interaktion

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der
Philosophie (Dr. phil.)

Kunsthochschule für Medien Köln

Bereich Kunst- und Medienwissenschaften

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Georg Trogemann, Kunsthochschule für
Medien Köln

Zweitgutachter: Prof. Dr. Frieder Nake, Universität Bremen

Verteidigt am 7. Mai 2015

Gesetzt mit L^AT_EX unter Verwendung von André Miedes classicthesis.

PUBLIKATIONEN

Manche Inhalte dieser Dissertation wurden in anderer Form bereits veröffentlicht. Die relevanten Publikationen sind im Einzelnen:

- Fries, Urs, Lasse Scherffig und Stefanie Stallschus. »How to understand... Seam Carving«. In: *Off Topic 0* (2008), S. 94–97.
- Popplow, Laura und Lasse Scherffig. »Locative Arts – Neue Erzählung des Raums?«. In: *Locative Media. Medialität und Räumlichkeit – Multidisziplinäre Perspektiven zur Verortung der Medien/Multidisciplinary Perspectives on Media and Locality*. Hrsg. von Regine Buschauer und Katharine S. Willis. Bielefeld: transcript, 2013, S. 277–295.
- Scherffig, Lasse. »Feedback: Vom Unding zur Sache«. In: *Code und Material: Exkursionen ins Undingliche*. Hrsg. von Georg Trogemann. Wien und New York: Springer, 2010, S. 64–86.
- »\$GPGSV: Satellites in View«. In: *Migrating: Art: Academies*. Hrsg. von Mindaugas Gapševičius. Angoulême, Köln und Vilnius: EESI, KHM und VDA, 2010, S. 258–267.
 - »Ortsbestimmung: Vom Mapping zum Tracing«. In: *Tracing Space*. Hrsg. von Thomas Hawranke und Serge Ecker. Luxembourg: Ballini Pitt & Partners, 2011, S. 5–8.
 - »(ping) pong. Feedback Machines between Computation and Control«. In: *World of the News*. Hrsg. von Christian Ulrik Andersen und Geoff Cox. Berlin und Aarhus: transmediale/reSource for transmedial culture und Digital Aesthetics Research Centre, 2012, S. 4–5.
 - »The Human Being as a Servo. Von Feedback Control zur Kybernetik«. In: *Informatik 2009. Im Fokus das Leben*. Hrsg. von Stefan Fischer, Erik Maehle und Rüdiger Reischuk. Lecture Notes in Informatics – Proceedings. Bonn: GI, 2009, S. 766–776.
 - »Trying to be Cake. Feedbackmaschinen oder: Interaktion als Wiederholen durch Unterbrechen«. In: *Off Topic 3* (2011), S. 30–35.
- Scherffig, Lasse und Georg Trogemann. »Über das Warten beim Rechnen – Synchronisationsstrategien in parallelen und interaktiven Systemen«. In: *Kulturtechniken der Synchronisation*. Hrsg. von Christian Kassung und Thomas Macho. München: Wilhelm Fink Verlag, 2013, S. 231–267.
- Trogemann, Georg, Stefan Göllner und Lasse Scherffig. »UNORTKA-TASTER: An Urban Experiment Towards Participatory Media Development«. In: *Paradoxes of Interactivity. Perspectives for Media Theory, Human-Computer Interaction, and Artistic Investigation*. Hrsg. von Uwe Seifert, Jin Hyun Kim und Anthony Moore. Bielefeld: transcript, 2008, S. 192–217.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	1
i HANDELN WAHRNEHMEN	5
1 SCHEINBARE BEWEGUNG	7
1.1 Die persönliche Gleichung	7
1.2 Bewegungserscheinung	16
ii FEEDBACK/MASCHINEN	31
2 KYBERNETIK	33
2.1 A Generalized Trainer	33
2.2 Feedback Takes Control	35
2.3 Klassische Regelungstechnik	46
2.4 Kybernetik	62
3 TRYING TO BE CAKE	81
3.1 Vom ASCA zu Whirlwind	81
3.2 Symbolische Maschinen	85
3.3 Tail and Dog	89
3.4 Feedbackmaschinen	96
iii INTERAKTION	107
4 WAS IST INTERAKTION?	109
4.1 From Computing Machinery to Interaction Design	109
4.2 Interaktion und Interaktivität	110
4.3 Genealogien der Interaktion	114
4.4 Time Sharing	117
4.5 Interaktion und Zeichen	122
4.6 Dispositiv und Disziplin	133
5 DIE PSYCHOLOGIE DER HCI	143
5.1 Kybernetik und Kognition	143
5.2 Vom Mensch zum User	157
5.3 Modelle und Gesetze	166
5.4 Concrete Thinking	178
iv WELT?	189
6 COMPUTER SPIELEN	191
6.1 Interaktiver Behaviorismus	191
6.2 Von welcher Welt ist hier die Rede?	215
v REAFFERENZ	227
7 ACTION CAPTURE	229
7.1 Voluntary Action Captures Visual Motion	229
7.2 Inter-Action Capture	246

8	CYBER-SPACE	263
8.1	One of those closed systems	263
8.2	Raum und Bewegung	264
8.3	Proto-kybernetische Räume	269
8.4	Reafferenz und Efferenzkopie	275
8.5	Wahrnehmung und Erwartung	284
9	OBJEKT UND HANDLUNG	289
9.1	Enaction	289
9.2	Verteilte Kognition und Interaction Gestalts	306
9.3	Objekte	316
9.4	Zurück zum Anfang: Free-Energy	327
vi	FAZIT	331
10	ENACTING THE INTERFACE	333
10.1	Zusammenfassung	333
10.2	Fazit	338
	LITERATUR	341

EINLEITUNG

Wie ist es möglich, dass wir die Bewegung eines physischen Gegenstands auf einem Tisch, die Beobachtung der daran gekoppelten „scheinbaren Bewegung“ auf einem Bildschirm und das Drücken einer Taste auf dem Gegenstand als einheitliche Handlung erleben – als eine Handlung, die für uns so alltäglich ist, dass wir ihr für gewöhnlich keine Beachtung schenken und die wir als „etwas anklicken“ bezeichnen?

Man könnte dieser Frage unter Verweis auf die akademische Human-Computer Interaction nachgehen, die sich innerhalb der Informatik mit dem Zusammenkommen von Menschen und Rechnern beschäftigt. Statt aber eine Antwort zu geben, die vom *state-of-the-art* dieses Feldes ausgeht und die das Handeln an Maus und Bildschirm innerhalb seiner (ohne schon äußerst vielseitigen) Denkstile und Paradigmen untersucht, soll hier ein neuer Blick auf diese Frage entwickelt werden, der in vielerlei Hinsicht ein alter ist. Dieser Blick stützt sich auf den Begriff der Rückkopplung oder des Feedbacks und damit auf einen zentralen Begriff einer wissenschaftlichen Disziplin, die trotz eines ausgesprochenen Revivals im geisteswissenschaftlichen Diskurs der letzten Jahre für die Informatik und Interaktionsforschung normalerweise allenfalls als historische Station im Vorfeld der eigenen Geschichte eine Rolle spielt. Diese Disziplin ist die Kybernetik.

Zeitgenössische geisteswissenschaftliche Diskussionen der Kybernetik konzentrieren sich vor allem auf ihre Rolle als Katalysator einer „epistemischen Erschütterung“¹, die die Grenzen von Mensch, Tier und Maschine „aus einem radikalen Denken der Technik heraus“² grundsätzlich in Frage stellt und damit ein (philosophisches) „Ende des Menschen“³ einläutet – eine Entwicklung, die bereits im Titel eines ihrer Gründungsdokumente mit Norbert Wieners berühmter doppelter Gleichsetzung von „Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine“⁴ prominent angekündigt wird.

Damals wie heute wird Feedback zu Recht als einer der grundsätzlichen Hauptbestandteile der Kybernetik angesehen⁵ – auf dem Höhepunkt ihrer Konjunktur oftmals sogar als *der* grundsätzliche Haupt-

1 Claus Pias. »Zeit der Kybernetik – Eine Einstimmung«. In: *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume II*. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2004, S. 9–41, S. 9.

2 Ebd., S. 16.

3 Ebd.

4 Norbert Wiener. *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2. Aufl. Cambridge, MA: MIT Press, 1961 [1948].

5 Vergleiche hierzu Pias, »Zeit der Kybernetik – Eine Einstimmung«, S. 13.

bestandteil⁶. Seine Rolle im Rahmen der epistemischen Erschütterung ist dabei die der Problematisierung autonomer menschlicher Handlungsmacht (oder „agency“⁷) in den Kreisläufen rückgekoppelter, „zirkulärer“ Kausalität zwischen „menschlichen und materiellen Handlungsträgern“⁸.

Ganz profan hingegen ist gerade eine Geschichte der Kybernetik, die diese als Geschichte einer radikalisierten feedbackorientierten Regelungstechnik rekonstruiert, auch als Vorgeschichte des interaktiven Rechnens selbst zu lesen. Denn in der Fusion von regelungstechnischen Apparaten und Methoden mit der Maschinisierung einer formalen Mathematik entsteht der Maschinentyp, der der Interaktion der Informatik zu Grunde liegt und dieser Arbeit ihren Titel verleiht. Es ist die Feedbackmaschine, die genau die neuen Formen der Darstellung von und des Einwirkens auf Rechenprozesse nötig macht, denen sich die Interaktionsforschung als Gegenstand widmen wird.

Daher beginnt die Suche nach einer Erklärung für das Zusammenkommen der Hand auf dem Tisch mit den Darstellungen auf dem Bildschirm mit einer ausführlichen Rekonstruktion von Kybernetik und interaktivem Rechnen. Die Suche konzentriert sich dabei auf die Denkkollektive amerikanischer Forschung, in deren Kontext die „klassische“ Regelungstechnik der Rückkopplung und schließlich die Kybernetik genauso entstehen, wie auch die ersten interaktiven Rechner und deren Schnittstellen. So werden Kontinuitäten und Brüche am Übergang von Regelungstechnik und Kybernetik zu Informatik und Human-Computer Interaction sichtbar, und es lassen sich die Apparate und organisatorischen Strukturen, Fragestellungen und Antworten, Experimentalsysteme und epistemischen Dinge herausarbeiten, die das interaktive Rechnen bis heute prägen.

Aufbauend auf diese Rekonstruktion kann so die Geschichte des Vergessens der Kybernetik in der Interaktionsforschung und der mit ihr entstehenden Kognitionswissenschaft nachgezeichnet werden, um gleichzeitig kybernetisches Denken für ein Verstehen von Interaktion zu reaktivieren und fruchtbar zu machen – als Kritik an kognitionswissenschaftlichen Theorien der Interaktion, aber auch am Vorwurf einer Konditionierung durch Interaktion, wie ihn Medienkunst oder Medienwissenschaften formulieren; als Ergänzung zu Theorien „direkter Manipulation“ oder „greifbarer Schnittstellen“; und schließlich als mögliche Antwort auf die Frage, wie körperliche Aktivität und Wahrnehmung beim Interagieren zusammenkommen, wobei klar wird, dass dieses Zusammenkommen selbst Grundlage

6 Vergleiche hierzu Philipp Aumann. *Mode und Methode. Die Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland*. Göttingen: Wallstein Verlag, 2009, S. 39, Heinz von Foerster. *KybernEthik*. Berlin: Merve, 1993, S. 63, sowie vor allem Kapitel 2.

7 Vergleiche hierzu Andrew Pickering. *Kybernetik und neue Ontologien*. Berlin: Merve, 2007, S. 90.

8 Ebd.

der Welten und Zeichen sein könnte, mit denen wir zu interagieren vermeinen.

Dieser Weg verläuft alles andere als gerade. Er beginnt auf einem Acker zwischen Pennsylvania und Maryland im achtzehnten Jahrhundert, bedient sich unterschiedlichster Diskurse – wie der Science and Technology Studies, der Medienwissenschaften, Semiotik, Experimental- und Gestaltpsychologie und nicht zuletzt der informatischen Interaktionsforschung selbst – und endet mit der Betrachtung „neokybernetischer“ Bestrebungen in der Kognitionswissenschaft. Auch methodisch greift er gleichermaßen auf geisteswissenschaftliche Verfahren wie auf die experimentellen Praktiken von Medienkunst und empirischer Psychologie zurück.

Mit der Konzentration auf die Kybernetik entsteht so ein Blick auf das Interagieren, der im technischen Denken dieser Disziplin beginnt und es bis in die Physiologie des „Reafferenzprinzips“ der 1950er Jahre und die aktuelle Forschung verfolgt. Dieser Blick versucht dabei, die Rückkopplung von Mensch und Computer in ihrer Zirkularität ernst zu nehmen. Nicht nur, um zu einer neuen Perspektive der Interaktionsforschung zu gelangen, sondern auch, weil Mensch-Computer-Schnittstellen historisch wie strukturell als „cybernetic interface[s]“⁹ zu verstehen sind und sich ihre kulturelle Bedeutung ohne eine kybernetische Perspektive nicht verstehen, begrüßen oder kritisieren lässt: „We need to develop, experience, understand and culturally integrate cybernetic perspectives and interface perception in order to experience the changing conditions that the interface sets up for perception, experience and culture.“¹⁰

Die Arbeit oszilliert damit zwischen einer Konzentration auf Kybernetik als Gegenstand auf der einen Seite, und als Methode auf der anderen. Sie unternimmt eine kritische Rekonstruktion von Geschichte und Rolle der frühen Kybernetik „erster Ordnung“ für die Herausbildung von interaktivem Rechnen und Interaktionsforschung, um sie zugleich in diesem Feld produktiv zu machen – ohne die Diskurse zu ignorieren, die außerhalb der Human-Computer Interaction bis heute an das kybernetische Programm und seine Probleme anknüpfen, es in Frage stellen und durch mehr als einen „second-order approach“¹¹ weiterentwickeln. Denn „The ideas of Cybernetics were good ones. By this I do not mean they were true [...]“¹².

9 Søren Bro Pold. »Interface Perception: The Cybernetic Mentality and Its Critics: Übermorgen.com«. In: *Interface Criticism: Aesthetics Beyond Buttons*. Hrsg. von Christian Ulrik Andersen und Søren Bro Pold. Aarhus: Aarhus University Press, 2011, S. 91.

10 Ebd., S. 110.

11 Tom Froese. »From Cybernetics to Second-Order Cybernetics?: A Comparative Analysis of Their Central Ideas«. In: *Constructivist Foundations* 5.2 (2010), S. 75–85, S. 77.

12 Jean-Pierre Dupuy. *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000, S. 15.

Teil I

HANDELN WAHRNEHMEN

SCHEINBARE BEWEGUNG

Beim Beobachten der scheinbaren Bewegung von Himmelskörpern machen die Astronomen des 17ten und 18ten Jahrhunderts Fehler. Auf Grund der rekursiven Natur der astronomischen Orts- und Zeitbestimmung tauchen diese Fehler in der Astronomie aber ausschließlich als konstanter Unterschied zwischen zwei Beobachtern auf. Diese Differenzen gehen als „persönliche Gleichung“ in die astronomische Praxis ein und dienen, mit reichlicher Verspätung, als Gründungsmythos der Experimentalpsychologie. Die frühen Versuche dieser jungen Disziplin die psychischen Gesetze der Beobachtung von Sternen experimentell zu ergründen liefern bald eine neue Form scheinbarer Bewegung: die Wahrnehmung von Bewegung wo keine ist. Die Untersuchung dieses Effektes zeigt schließlich, dass wir vielleicht gezwungen sind, so wahrzunehmen, wie wir handeln.

1.1 DIE PERSÖNLICHE GLEICHUNG

Über Nacht erscheint auf John Harlands Flur ein organisierter Trupp von Männern, welche ungewohnte Rituale vollziehen, die ebensogut aus einer anderen bewohnten Welt stammen könnten. [...] Sie haben das Instrument auf den Meridian ausgerichtet. „Auf Grund der Art und Weise, wie die Erde sich dreht“, erklärt Mason, „bewegen sich die Sterne in Bögen über den Himmel. Wenn jeder am höchsten Punkt seines Bogens anlangt, so ist man selbst zur Stelle und beobachtet ihn in diesem Moment, indem man genau nach Norden blickt.“ [...]

Harland krümmt sich unter das Okular. „Ich dachte, das wäre dazu da sie näher heranzuholen?“

„Den Mond“, sagt Dixon, „Planeten ... Nicht aber die Sterne...“

„Von einem Stern“, fügt Mason hinzu, „wollen wir nur wissen wo er ist und wann er eine bestimmte Bezugslinie passiert.“

„Das ist alles?“[...] „Kommt mir ganz einfach vor. Damit bewegt man es auf und ab...“

„Fixieren Sie Capella auf dem waagerechten Faden“, rät Dixon.

„He!“ Dies Mason in einem Ton der nicht so verärgert ist, wie er's sein könnte, „wer ist hier der legitimierte Astronom?“¹

¹ Thomas Pynchon. *Mason & Dixon*. Reinbek: Rohwohlt, 2001, S. 439-440.

Charles Mason, ein durchaus legitimer Astronom und ehemaliger Assistent von James Bradley, des dritten *Astronomer Royal* zu Greenwich, könnte in dieser Situation tatsächlich verärgert sein: Astronomische Beobachtungen sind alles andere als „ganz einfach“. Im Gegenteil: Sie erfordern lange Übung eines koordinierten Ablaufs aus Handlungen und Beobachtungen, der eingebettet ist in ein weltumspannendes Netz aus Beobachtern, Apparaten, Kommunikations- und Speichermedien.

Sowohl im Roman von Thomas Pynchon, dem die Szene auf John Harlands Flur entstammt, als auch historisch befinden sich Charles Mason und Jeremia Dixon zu diesem Zeitpunkt in Nordamerika, um dort die Territorialgrenze zwischen den Provinzen Pennsylvania und Maryland zu ziehen. Zwischen den Besitzern der Provinzen hatte es seit 1681 Grenzstreitigkeiten gegeben, da die Urkunde, die William Penn Land in diesem Teil der neuen Welt zusprach, die Grenzen dieses Landes nicht eindeutig regelte.²

Daher werden im Jahre 1760 Mason und Dixon beauftragt, eine über weite Strecken absolut gerade Linie zu ziehen, die auf einer mittleren Breite von 39 Grad 43 Minuten und 20 Sekunden nördlicher Breite den Grenzkonflikt lösen soll. Alle Charakteristika der irdischen Landschaft ignorierend wird die Linie von einer Expedition, deren Trasse von Holzfällern in die Wälder geschnitten wird, mittels regelmäßiger Markierung in die Landschaft gesetzt. Als *Mason-Dixon-Line* geht diese Linie in die amerikanische Geschichte ein, wo sie der Grenze zwischen den Nord- und Südstaaten (und damit der symbolischen wie später auch der juristischen Grenze zwischen Sklaverei und Abolitionismus) sowie der Musikrichtung *Dixieland* einen Namen gibt.³

Das Ziehen einer solchen Linie, die geografisch als Kreisbogen eines Breitengrades zu verstehen ist, verlangt vor allem wiederholte Ortsbestimmungen. Geographische Länge und Breite müssen immer wieder exakt bestimmt werden um sicherzustellen, dass die Linie am richtigen Punkt beginnt und in ihrem Verlauf nicht von ihrem Kurs abweicht. Diese Aufgabe ist im 18. Jahrhundert alles andere als trivial. Die Familie Penn und der Baron Baltimore (Herr der Provinz Maryland) bitten daher die britische *Royal Society* um Hilfe. Diese schickt mit Mason einen Astronomen, sowie dessen Assistenten Dixon, einen ausgebildeten Geometer.⁴ Beide sind erfahrene Beobachter der Gestirne. Sie haben im Auftrag der Royal Society 1761 den Venustransit be-

2 Paul Doutrich. »Cresap's War: Expansion and Conflict in the Susquehanna Valley«. In: *Pennsylvania History* 53.2 (1986), S. 89–104, S. 101.

3 Hierzu und zum Folgenden vergleiche auch Lasse Scherffig. »\$GPGSV: Satellites in View«. In: *Migrating: Art: Academies*: Hrsg. von Mindaugas Gapševičius. Angoulême, Köln und Vilnius: EESI, KHM und VDA, 2010, S. 258–267.

4 Vergleiche hierzu Thomas D. Cope und H. W. Robinson. »Charles Mason, Jeremiah Dixon and the Royal Society«. In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 9.1 (1951), S. 55–78.

obachtet: die Durchquerung der Sonnenscheibe durch die Venus, die nur äußerst selten stattfindet. Eine Beobachtung, die in Zusammenarbeit mit Nevil Maskelyne durchgeführt wurde – der selbst, als Mason und Dixon sich in Amerika befinden, zum *Astronomer Royal* berufen wird.

Als Mason und Dixon ihre Linie ziehen, sind Positionsbestimmung und Astronomie untrennbar miteinander verknüpft. Positionen auf der Erdoberfläche lassen sich nämlich zu dieser Zeit ausschließlich durch Beobachtung von Himmelskörpern bestimmen – „Und eines der wenigen Dinge, für welche die Sternguckerei taugt, ist herauszufinden, wo genau man sich auf der Erdoberfläche befindet.“⁵ In der geodätischen Astronomie liefert der Himmel das Bezugssystem über das sich die Koordinaten auf der Erdoberfläche bestimmen lassen. Die Bestimmung von Orten auf der Erdoberfläche erfolgt damit über die Beobachtung der „Örter“ von Himmelskörpern. Solche Örter sind dabei keine *Positionen* im All, sondern *Richtungen* in denen die Sterne einem Beobachter erscheinen.⁶ Örter und Bewegungen der Himmelskörper werden dabei bewusst als *scheinbar* bezeichnet, wobei scheinbar hier weniger „nicht wirklich“ meint, als eben die Tatsache, dass es sich um Phänomene handelt, die immer im Bezug zu einem Beobachterstandpunkt stehen, an dem sie auf eine bestimmte Art und Weise *erscheinen*.⁷

Die scheinbare Bewegung der Sterne ist Folge der Erdrotation: Wegen ihr scheinen sich die Himmelskörper mit einer Frequenz von einem Tag⁸ in Bögen über den Himmel zu bewegen. Die verlässliche Wiederkehr der Himmelskörper ist dabei vorhersag- und beobachtbar und bildet eine natürliche Uhr, die lange Zeit die exakteste Uhr ist, die zur Verfügung steht und die eine exakte Vorstellung von Zeit und Ort überhaupt erst hervorbringt.

Zeit wird mit dieser Uhr operational über ein Beobachtungsverfahren definiert: So liefert der Zeitpunkt des Höchststands der Sonne, ihre Kulmination, die lokale Mittagszeit. Da Zeitpunkt und Höhe der Kulmination abhängig vom Beobachterstandpunkt sind, lassen sich so Orte auf der Erdoberfläche über die scheinbaren Örter von Himmelskörpern bestimmen: Der Winkel der Sonnenhöhe zum Zeitpunkt der Kulmination liefert den Breitengrad einer Position. Der Längengrad einer Position dagegen ergibt sich aus der Differenz zwischen lo-

5 Pynchon, *Mason & Dixon*, S. 881.

6 Albert Schödlbauer. *Geodätische Astronomie: Grundlagen und Konzepte*. Berlin: Walter de Gruyter, 2000, S. 25.

7 Ebd., S. 201.

8 Wobei der scheinbare Sonnentag, der sich aus der Wiederkehr der Sonne ergibt, dank der Bewegung der Erde um die Sonne kürzer ist als der scheinbare Sterntag, der sich an der scheinbaren Bewegung der Fixsterne orientiert. Beide sind zusätzlich zu unterscheiden vom mittleren Sonnen- und Sterntag, die im Gegensatz zu beobachteten scheinbaren Tagen von idealisierten exakt gleich langen Tagen ausgehen. Vergleiche Sir Harold Spencer Jones. »The Measurement of Time«. In: *Reports on Progress in Physics* 4 (1937), S. 1–26

kaler Zeit und der lokalen Zeit einer beliebigen anderen Position auf der Erdoberfläche.⁹ Die Örter der Sterne und die Orte der Erdoberfläche werden so als Winkel im selben Koordinatensystem gemessen und das Koordinatensystem der Erdoberfläche ist im Himmel darüber verankert. Wegen der zentralen Rolle, die die Astronomie für die Bestimmung von Ort und Zeit spielt, bildet sie einen der Eckpfeiler des britischen Empire.¹⁰

Zunächst ist das Koordinatensystem der Beobachtung von Sternen noch beobachterbezogen. Das horizontale Koordinatensystem orientiert sich am Horizont des Beobachters und gibt die Richtung eines Sterns aus dessen Sicht an. Der Azimuth bezeichnet dabei die Abweichung des Sterns vom lokalen Meridian im Norden, die Elevation seinen Höhenwinkel über dem Horizont. Um von diesem System in das äquatoriale Koordinatensystem der Himmelskugel und das geografische Koordinatensystem der Erde zu gelangen, müssen lokale Zeit und Lokalität selbst aus der Erdrotation erzeugt werden. Dazu setzt die Beobachtungspraxis immer wieder Ort und Zeit in Beziehung zueinander.

Dass die Fixsterne in der geodätischen Astronomie nur als Indizes für die Bestimmung von Ort und Zeit gelesen werden, erklärt warum Mason und Dixon von einem Stern nur Wissen wollen, „wo er ist und wann er eine bestimmte Bezugslinie passiert.“ Diese Bezugslinie ist meist der lokale Meridian, an dem entlang man „genau nach Norden blickt“ um den Zeitpunkt festzuhalten, in dem er von einem bestimmten Stern passiert wird. Dieses Verfahren, das Beobachten des Sterndurchgangs oder -transits, wird mit einem technischen Instrument realisiert: Das Passageninstrument ist ein Teleskop, das so aufgestellt wird, dass es auf dem lokalen Meridian liegt. Um eine in Ost-West-Richtung liegende Achse ist es dann auf der Nord-Süd-Achse kippbar.¹¹ Durch die Vergrößerung des Teleskops ist die scheinbare Bewegung des beobachteten Sterns besser wahrnehmbar – bei einer sechzig- bis achtzigfachen Vergrößerung ist sie innerhalb einer Sekunde deutlich zu sehen.¹² In der Brennebene des Teleskops ist vertikal eine Reihe paralleler Fäden und horizontal ein einziger Faden angebracht. So kann der beobachtete Stern (für John Harland ist dies Capella) auf dem horizontalen Faden fixiert werden um an-

⁹ Vergleiche hierzu Jones, »The Measurement of Time«.

¹⁰ Christoph Hoffmann. »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«. In: *British Journal for the History of Science* 40.3 (2007), S. 333–365, S. 360.

¹¹ Jones, »The Measurement of Time«, S. 3, Schödlbauer, *Geodätische Astronomie: Grundlagen und Konzepte*, S. 464

¹² Hoffmann, »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«, S. 348.

schließlich zu beobachten, wann er nacheinander von den vertikalen Fäden geschnitten oder „biseziert“ wird¹³ (Abbildung 1).

Mit dem „richtigen Moment“, in dem man nach Norden blickt, wird das Verfahren allerdings zirkulär: Um feststellen zu können, *wann* die Passage erfolgt, muss der Beobachter über die lokale Zeit verfügen, welche wiederum durch die Beobachtung von Himmelskörpern festgestellt wird. Die Beobachtung von Sterndurchgängen setzt daher einen Mechanismus voraus, der die einmal beobachtete lokale Zeit festhält und im folgenden Beobachtungsprozess verfügbar macht. Grundlage dieses Mechanismus bilden lange die Pendelgesetze nach Galileo Galilei. Diese bilden eine Theorie, die es Christian Huygens 1656 ermöglicht als Implementation dieser Theorie die erste Pendeluhr zu konstruieren.¹⁴ Da die Formel

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

die die Schwingungsdauer T als Funktion von Pendellänge L und Erdbeschleunigung g angibt, für eine Pendellänge von etwa einem Meter eine Schwingungsdauer (als Zeit einer vollständigen Bewegung vor und zurück) von zwei Sekunden voraussagt, werden von nun an astronomische Pendeluhrn eingesetzt, die im Sekundentakt schlagen.¹⁵

Die geodätische Astronomie dieser Zeit ist also eine komplexe Praxis, bei der durch eine Reihe von Beobachtungen, die auf den maschinell aufrechterhaltenen Ergebnissen früherer Beobachtungen basieren, die Bestimmung von Ort und Zeit stabilisiert wird. Sie findet in einem Netzwerk statt, das einen oder mehrere Beobachter, Pendeluhrn und Beobachtungsinstrumente, wie das Passageninstrument, umfasst. Dieses Netzwerk umspannt die gesamte Erde und verknüpft unzählige Einzelbeobachtungen über Apparate, Formalismen für mathematische Korrekturen, astronomische Almanache mit den Aufzeichnungen früherer Beobachtungen, Landkarten und nicht zuletzt materielle Markierungen, wie die entlang der *Mason-Dixon-Line*. Unter den Praktiken, an Hand derer die Teiles des Netzes ineinander greifen, ist hier vor allem die Auge-Ohr-Methode interessant.

¹³ Jones, »The Measurement of Time«, S. 4.

¹⁴ Schödlbauer, *Geodätische Astronomie: Grundlagen und Konzepte*, S. 302.

¹⁵ Der „Urmeter“ wird 1791 als zehnmillionster Teil eines Viertels des Erdmeridians definiert, während die Sekunde ursprünglich als 1/86400 eines durchschnittlichen Sonnentags definiert wurde. Obwohl beide Maßeinheiten daher zunächst unabhängig voneinander sind, ist der Zusammenhang von Meter und Sekunde, den die Pendeluhr herstellt, wahrscheinlich auch kein reiner Zufall. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Entscheidung für ausgerechnet den *zehnmillionsten* Teil eines *Viertels* des *Erdmeridians* (und nicht eines anderen Teils einer anderen Länge, wie etwa der des Äquators) kein Zufall ist, sondern dass hier eine Länge gewählt wurde, die sowohl auf der Erdoberfläche wie auch in der astronomischen Praxis der Zeitmessung eine Verankerung hat. Eine ausführliche Diskussion hierzu liefern Paolo Agnoli und Giulio D’Agostini. *Why does the meter beat the second?* Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2005. URL: <http://arxiv.org/abs/physics/0412078>.

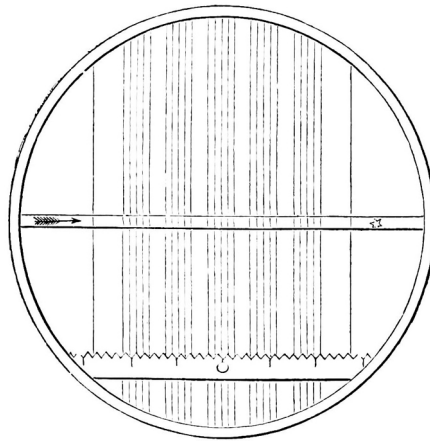


Abbildung 1: Blick durch ein Passageninstrument (aus Edward S. Holden. »The Personal Equation«. In: *Popular Science Monthly* 6 (1875), S. 385–398, S. 386).

1.1.1 Auge und Ohr

Bedingt durch den Sekundentakt astronomischer Pendeluhrer sollte die maximale zeitliche Auflösung für Transitbeobachtungen bei einer Sekunde liegen. James Bradley, dessen Assistent Mason gewesen ist, hatte aber eine Methode entwickelt, die Beobachtungen mit weit höherer Genauigkeit ermöglicht: Bei der Auge-Ohr-Methode lauscht der Astronom, während sich ein Stern einem der vertikalen Fäden nähert, auf das Ticken der Pendeluhr. Aus den räumlichen Abständen zwischen Stern und Faden beim letzten Ticken vor und beim ersten Ticken nach dem Transit interpoliert er anschließend dessen exakten Zeitpunkt auf eine Zehntelsekunde genau. Diese Messung wird an jedem Faden des Instruments wiederholt und am Ende gemittelt.¹⁶

Die Methode macht sich, so scheint es zunächst, die unterschiedlichen Eigenschaften der visuellen und auditorischen Wahrnehmung zu Nutze: Die räumliche Auflösung des Sehens ist deutlich höher als die des Hörens, gleichzeitig ist die zeitliche Auflösung des Hörens höher als die des Sehens. Die Beobachtung einer Entfernung durch das Auge und eines Zeitpunktes durch das Ohr sollte daher optimal den Eigenschaften des menschlichen Sensoriums entsprechen.

Die Beobachtung von Sterndurchgängen mit der Auge-Ohr-Methode ist das wichtigste Verfahren der Astronomie dieser Zeit. Ein Assistent des *Astronomer Royal* verbringt damit 80% seiner Arbeitszeit und damit einen guten Teil seiner Nächte.¹⁷ Maskelyne, der zum

¹⁶ Vergleiche Jones, »The Measurement of Time«, Mary Croarken. »Astronomical Labourers: Maskelyne's Assistants at the Royal Observatory, Greenwich, 1765-1811«. In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 57.3 (2003), S. 258–298, sowie Edward S. Holden. »The Personal Equation«. In: *Popular Science Monthly* 6 (1875), S. 385–398.

¹⁷ Croarken, »Astronomical Labourers: Maskelyne's Assistants at the Royal Observatory, Greenwich, 1765-1811«.

fünftens *Astronomer Royal* berufen wird, als Mason und Dixon gerade in Amerika sind,¹⁸ stellt harte Anforderungen an seine Assistenten: Sie müssen an jedem Tag der Woche von 7 Uhr Morgens bis 10 Uhr Abends für Beobachtungen zur Verfügung stehen, unter Umständen auch Nachts aufstehen um außergewöhnliche Phänomene zu beobachten und an Werktagen zusätzlich Berechnungen ausführen.¹⁹ Ein Verlassen von Greenwich kommt daher nur selten in Frage und wird von Maskelyne nicht gerne gesehen – wie auch das Ausüben anderer Aktivitäten. Die Arbeit im Observatorium ist für manche seiner Assistenten zwar ein Karrieresprungbrett, von dem aus zum Beispiel Posten im *Board of Longitude* erreichbar sind,²⁰ Berühmtheit soll aber nur einer seiner Assistenten erhalten – und dies nicht wegen seiner Leistungen, sondern wegen einer systematischen Fehlleistung.

David Kinnebrook, Maskelynes Assistent von 1794 bis 1796, beobachtet den Sterntransit deutlich später als sein Vorgesetzter – 1796 liegt er im Durchschnitt 800 Millisekunden hinter ihm.²¹ Maskelyne wertet dies als Kinnebrooks Fehler und sieht sich deswegen gezwungen, ihn zu entlassen. Obwohl Maskelyne den Fall bereits in den *Greenwich Observations* des Jahres 1799 vermerkt, entfaltet er seine Wirkung erst Jahre später. Zunächst innerhalb der Astronomie, später dann im sich formierenden Feld der experimentellen Psychologie.

Für die Astronomie ist der Fall Kinnebrook zunächst aber keineswegs ein Schock – und nicht einmal ein Fall. Über Kinnebrooks Verwendung der Auge-Ohr-Methode schreibt Maskelyne:

I cannot persuade myself that my late Assistant continued in the use of this excellent method of observing, but rather suppose he fell into some irregular and confused method of his own; as I do not see how he could have otherwise committed such gross errors.²²

Der Grund für die Unterschiede zwischen seinen und Kinnebrooks Beobachtungen ist für Maskelyne also in der Anwendung einer falschen Methode zu suchen. Auf die Idee, solche Unterschiede könnten in der Natur des Beobachtens selbst liegen, kommt Maskelyne nicht. Damit vertritt er, so der Wissenschaftshistoriker Christoph Hoffmann, eine Auffassung seiner Zeit: Richtiges Beobachten wird ausschließlich als eine Frage der richtigen Methode gesehen. Die Existenz *unwillkürlicher* Fehler der menschlichen Wahrnehmung, die sich

18 Cope und Robinson, »Charles Mason, Jeremiah Dixon and the Royal Society«.

19 Croarken, »Astronomical Labourers: Maskelyne's Assistants at the Royal Observatory, Greenwich, 1765-1811«, S. 288-289.

20 Ebd., S. 296.

21 Vergleiche hierzu John D. Mollon und Adam Perkins. »Errors of judgement at Greenwich in 1796«. In: *Nature* 380 (1996), S. 101-102, sowie Hoffmann, »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«.

22 Zitiert nach ebd., S. 338.

einem methodischen Zugang entziehen, wird nicht angenommen. Ein systematischer Fehler muss daher Misstrauen in die Methode eines speziellen Beobachters zur Folge haben, nicht Misstrauen in das Beobachten im Allgemeinen.²³ Maskelyne hat, wie die Psychologen John Mollon und Adam Perkins in einem *Nature*-Artikel zeigen, aber auch ganz andere Gründe Kinnebrook zu entlassen: Kinnebrook korrespondiert mit dem Astronomen John Herschel, den Maskelyne für einen Konkurrenten hält. Auch versucht Maskelyne Kinnebrook mit der Tochter eines Freundes zu verheiraten – keine zwei Wochen nachdem Kinnebrook das Angebot ablehnt, wird er entlassen.²⁴

Zum Fall wird dieser Vorfall erst rückwirkend, als der Astronom Friedrich Wilhelm Bessel 1822 ebenfalls das Vorhandensein von Differenzen in der Beobachtungszeit zwischen ihm und anderen Astronomen beschreibt.²⁵ Anders als ein Vierteljahrhundert zuvor werden solche „constanten Unterschiede“²⁶ in der Astronomie jetzt diskutiert – und die Entlassung von Kinnebrook in ein neues Licht gerückt. Voraussetzung für diese Neubewertung des Falls Kinnebrook ist einerseits, dass Bessel Differenzen zwischen Individuen auffallen, die jeweils als gleichermaßen methodisch versierte und damit vertrauenswürdige Beobachter gelten. Andererseits, und das ist vermutlich wichtiger, wurden inzwischen mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung Instrumente zum Umgang mit systematischen Fehlern entwickelt. In einen Brief an Bessel erklärt Carl Friedrich Gauss, dass vor diesem Hintergrund nun den kleinen Fehlern außerhalb der Grenzen der Wahrscheinlichkeit große Aufmerksamkeit gebühre, denn diesen „muss ein physischer Grund [...] zugehören.“²⁷ Damit erhalten die konstanten Differenzen den Status von Objekten wissenschaftlicher Untersuchung und können im astronomischen Diskurs als etwas auftauchen, das über die Verwendung der falschen Methode durch einen Beobachter hinausgeht. Mit dieser Verschiebung kommt langsam der handelnde Beobachter oder „observer in action“²⁸ als ein Instrument unter vielen in den Blick, das ebenso fehlerhaft wie Fernrohre oder Uhren sein kann: „This »constant error« is analogous to the error of the chronometer and in a similar way it may be determined within certain limits of variation and allowed for.“²⁹

23 Hoffmann, »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«, S. 338.

24 Mollon und Perkins, »Errors of judgement at Greenwich in 1796«.

25 Hoffmann, »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«, S. 333.

26 Bessel zitiert nach ebd., S. 345.

27 Gauss zitiert nach ebd., S. 42.

28 Ebd., S. 336.

29 Francis N. Maxfield. »The Observer: An Instrument of Precision«. In: *The Ohio Journal of Science* 25.5 (1927), S. 205–218, S. 218.

Aber auch mit diesem neuen Status erschüttern die konstanten Unterschiede die Astronomie – und insbesondere die geodätische Astronomie – nicht in ihren Grundfesten. Die rekursive Natur der Transitbeobachtungen, bei denen weniger die absolute Zeit eines Sterndurchgangs, als die relative Differenz zweier lokaler Zeitpunkte gemessen wird, hat zur Folge, dass sich die Beobachtungsfehler bei der Zeitbestimmung und der Transitbeobachtung genau dann gegenseitig aufheben, wenn an einem Ort auf der Erdoberfläche auch ein einziger Beobachter die Messungen vornimmt.³⁰ Lediglich an Orten wie dem *Greenwich Observatory*, wo mehrere Beobachter zur gleichen Zeit arbeiten, wirft die Existenz der konstanten Differenzen ein Problem auf. Hier setzt sich daraufhin die Praxis durch, die Beobachtungsergebnisse jeweils mit den Initialen des jeweiligen Beobachters zu markieren und die Differenzen zwischen Beobachtern paarweise als *persönliche Gleichung* anzugeben.³¹ Diese Gleichungen werden als mathematische Kontrollverfahren zur Fehlerkorrektur in das Netz astronomischer Beobachtung eingefügt.

In den Folgejahren werden darüber hinaus zahlreiche Verfahren und Apparate entwickelt mit denen sich ein Beobachter strenger Selbstdisziplinierung unterziehen kann, um das in den Griff zu bekommen, was an der Ursache des Phänomens durch Training zu beeinflussen ist. Vor allem aber zielt die technische Entwicklung in der Folge darauf ab, die Rolle menschlicher Beobachtung schrittweise zu minimieren. 1889 wird der persönlichen Gleichung das „unpersönliche Mikrometer“ entgegengesetzt – ein halbautomatisches Instrument, an dem ein Beobachter die scheinbare Bewegung eines Sterns manuell verfolgt und das den Zeitpunkt der Passage elektromechanisch registriert.³² In der Folge wird der Beobachter schließlich vollständig eliminiert: Zenitkameras zeichnen die scheinbare Bewegung der Himmelskörper vollautomatisch auf, später übernehmen elektronische CCD-Systeme diese Aufgabe. Bis heute wurde diese Geschichte der entpersönlichten Beobachtung von Sternen in der geodätischen Astronomie radikalisiert: *Global Navigation Satellite Systems* wie das *Global Positioning System* (GPS) ersetzen das globale Netzwerk aus Apparaten und Beobachtungen durch einen Maschinenpark. Hier werden nicht nur die Beobachter zu vollautomatischen Funkempfängern, auch die Himmelskörper werden durch künstliche Satelliten und damit die Örter scheinbarer Bewegung durch tatsächliche Orbits ersetzt. Dieses künstliche Verortungssystem ist weiterhin auf Zeit angewiesen, nur ist nun der

³⁰ Hoffmann, »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«, S. 354.

³¹ Ebd., S. 356. Vergleiche auch Holden, »The Personal Equation«.

³² Jones, »The Measurement of Time«, S. 6.

Laufzeitunterschied von Funksignalen die entscheidende Größe – und deren Referenz bilden Atomuhren in Satelliten.³³

Mit dem pragmatisch motivierten Einschreiben der persönlichen Gleichung in die astronomische Praxis entsteht aber auch ein „Erinnerungsmechanismus“³⁴, der das Problem im wissenschaftlichen Bewusstsein hält, bis es in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts in der Experimentalpsychologie auftaucht.

1.2 BEWEGUNGSERSCHENUNG

Von 1873 an legt der Wiener Psychologe Sigmund Exner Ritter von Ewarten in mehreren Abhandlungen seine „Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse“ vor. Er beginnt die erste Abhandlung³⁵, unter der Überschrift „Die persönliche Gleichung“ mit einer Schilderung seiner Motivation. Die Experimente, in denen unter anderem Hermann von Helmholtz gezeigt hatte, dass die Geschwindigkeit der Impulsleitung in Nerven temperaturabhängig ist, hatten ihn auf den Gedanken gebracht, „dass möglicher Weise die grosse Verschiedenheit in der Schnelligkeit und Präcision der Bewegungen, welche man einerseits bei lebhaften und jugendlichen, andererseits bei phlegmatischen und alten Leuten findet, mit der Verschiedenheit der Nervenleitungsgeschwindigkeit in Zusammenhang zu bringen sei.“³⁶ Ein Experiment, dass diese Hypothese durch Messung der Nervenleitgeschwindigkeit am Nervus Medianus des Arms entsprechender Individuen belegen sollte, bleibt aber ergebnislos. „Hiervon abgeschreckt,“ schreibt Exner „ließ ich die Frage fallen.“³⁷

Die Suche nach einer physiologischen Erklärung des unterstellten Unterschieds zwischen lebhaft und jung sowie phlegmatisch und alt führt Exner nun von der Peripherie des Arms ins Zentrum zu den psychischen Prozessen: Er unternimmt zunächst eine experimentelle Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung. Und eine solche Untersuchung ist, so erklärt Exner, „der Hauptsache nach identisch mit der Frage nach der persönlichen Gleichung“³⁸ – welche in der Physiologie zunächst eingeführt werden muss, da sie bisher in „schwer zugänglichen astronomischen und physikalischen Zeitschriften zerstreut ist.“³⁹

33 Scherffig, »\$GPSV: Satellites in View«.

34 Hoffmann, »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«, S. 361.

35 Sigmund Exner: »Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse: Erste Abhandlung«. In: *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere* 7 (1873), S. 601–660.

36 Ebd., S. 601.

37 Ebd., S. 602.

38 Ebd.

39 Ebd.

In der folgenden Einführung in die Problematik der persönlichen Gleichung schreibt Exner ihre Entdeckung direkt Bessel zu, der tatsächlich noch von konstanten Unterschieden gesprochen hatte. Als Grund für ihre Entdeckung gibt er Bessels Aufmerksamwerden auf den Fall Kinnebrook an.⁴⁰ Damit konstruiert Exner eine verkürzte Geschichte, die die Beobachtungsdifferenz zwischen Maskelyne und Kinnebrook und die konstanten Differenzen bei Bessel unter dem Titel subsumiert, der die astronomische Praxis des Umgangs mit solchen Unterschieden bezeichnet hatte. Ganz ähnlich bezieht sich auch Wilhelm Wundt, der bis heute als einer der Gründer der Experimentalpsychologie gilt, bereits in den 1860er Jahren auf die persönliche Gleichung.⁴¹ Ohne sich direkt auf Wundt zu beziehen, repliziert Exner diese teleologische Geschichte, die die Experimentalpsychologie als Fortführung der Astronomie konstruiert und die bis heute zum *standard account* der Psychologiegeschichte geworden ist.⁴² „Historians have taken Kinnebrook’s dismissal to be the event that gave birth to experimental psychology.“⁴³

Wie noch genauer zu besprechen sein wird, untersucht die zeitgenössische Wissenschaftstheorie Funktion und Entwicklung von Wissenschaft einerseits stark historiografisch, andererseits zunehmend mit einem Blick auf die Verschränkung von Laborpraxis und -apparaturen.⁴⁴ Wissenschaft ist demnach geprägt von den „Experimentalsystemen“, die wissenschaftliche Forschung erst ermöglichen und zugleich bedingen, was als „epistemische Dinge“ überhaupt Gegenstand der Forschung sein kann. Eine so verfahrenende Geschichte der verwendeten Experimentalsysteme würde das Bindeglied zwischen Astronomie und Psychologie in einem Versuchsaufbau sehen, mit dem der *Astronom* Adolph Hirsch in den 1860er Jahren die menschliche *Reaktionszeit* gemessen hatte.⁴⁵

Bis zum heutigen *standard account* wird der Fall Kinnebrook also mehrmals neu bewertet: Ist für Maskelyne noch eindeutig, dass solch ein Fehler ein Problem der verwendeten Methode ist, so wird daraus für Bessel durch den Filter der Wahrscheinlichkeitsrechnung ein Problem der Fehlerhaftigkeit des Beobachters als Instrument. Anschließend hält die persönliche Gleichung zusammen mit anderen Verfahren zur Korrektur von Messfehlern Einzug in die astronomische Praxis. Mehr als hundert Jahre später wird der Fall dann durch Psycho-

⁴⁰ Ebd., S. 602-607.

⁴¹ Vergleiche hierzu Wilhelm Wundt. *Grundzüge der physiologischen Psychologie*. Leipzig: Engelmann, 1874, S. 760-762.

⁴² Henning Schmidgen. »Zur Genealogie der Reaktionsversuche in der experimentellen Psychologie«. In: *Instrument – Experiment: historische Studien*. Hrsg. von Christoph Meinel. Berlin und Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 2000, S. 168-179, S. 171.

⁴³ Mollon und Perkins, »Errors of judgement at Greenwich in 1796«, S. 101.

⁴⁴ Vergleiche hierzu 2.3.1.

⁴⁵ Schmidgen, »Zur Genealogie der Reaktionsversuche in der experimentellen Psychologie«, S. 170-171.

logen wie Wundt oder Exner als Problem der Psychologie gedeutet, zur Motivation der eigenen Arbeit und zur Geburtsstunde der experimentellen Psychologie überhaupt erklärt. In Anschluss an die Experimente von Hirsch wird der Fall in weiterer Verkürzung vor allem mit der menschlichen Reaktionszeit in Zusammenhang gebracht.⁴⁶

Dabei kann die persönliche Gleichung gerade keine Reaktionszeit sein. Denn bei Transitbeobachtungen kann so lange kein Beobachtungsfehler als Abweichung von einer richtigen Zeit erscheinen, wie die Beobachtungen selbst die genaueste Zeit hervorbringen, die überhaupt zur Verfügung steht. Mit anderen Worten: Zur Zeit Maskelynes oder Bessels kann die persönliche Gleichung nichts anderes sein, als ein Unterschied zwischen Beobachtern – eine mehr oder weniger konstante Differenz. Es verwundert daher auch nicht, dass die persönliche Gleichung genau dann an den Anfang der Psychologie gesetzt wird, als sich mit Chronoskop und Tachistoskop Experimentalsysteme zur Messung der Reaktionszeit und Manipulation der Darbietungszeit herausbilden.⁴⁷ Nicht die Tatsache, dass die Astronomie die Grenzen menschlicher Wahrnehmung problematisiert steht damit am Anfang der Experimentalpsychologie, sondern eher die sich entwickelnde Möglichkeit die Experimentalsysteme zu realisieren, die Reaktionszeiten als Forschungsgegenstand (oder epistemische Dinge) erst hervorbringen. Exner und Wundt schließen so, ohne das deutlich zu machen, viel direkter an die Experimente zur Messung der Nervenleitgeschwindigkeit durch Helmholtz an, als an die Astronomie.⁴⁸

Obwohl für die moderne Psychologie der Fall Kinnebrook bis heute als Ursprungsgeschichte herhalten muss, geht man auch hier mittlerweile davon aus, dass es darin gerade nicht um die menschliche Reaktionszeit geht: Nach Analyse der Beobachtungsdaten von Maskelyne und Kinnebrook kommt die zeitgenössische Experimentalpsychologie zu dem Schluss, dass Kinnebrooks Fehler wahrscheinlich eine Folge der Interaktion multimodaler Wahrnehmung ist. Kinnebrooks Beobachtungen zeigen tatsächlich einen systematischen Fehler – seine Abschätzungen der Zehntelsekunden zeigen eine signifikante Tendenz zur vollen Sekunde. Dieser *bias* könnte dabei Folge eines Phänomens sein, dass an ein bekanntes Phänomen der Sprachwahrnehmung erinnert. So wie ein Hörer dazu neigt, ein Klicken in einem Gespräch so wahrzunehmen, als wäre es in der Pause zwischen zwei Sätzen erfolgt, neigte Kinnebrook eventuell dazu, dass Ticken der Pendeluhr im Moment der Bisektion zu hören.⁴⁹ Scheint es zunächst ein Vorteil zu sein, dass die Auge-Ohr-Methode auf der

46 Vergleiche hierzu Claus Pias. »Computer Spiel Welten«. Diss. Bauhaus-Universität Weimar, 2000, S. 12.

47 Nicholas J. Wade und Dieter Heller. »Scopes of perception: The experimental manipulation of space and time«. In: *Psychological Research* 60.4 (1997), S. 227–237, S. 233.

48 Schmidgen, »Zur Genealogie der Reaktionsversuche in der experimentellen Psychologie«, S. 171.

49 Mollon und Perkins, »Errors of judgement at Greenwich in 1796«, S. 102.

Verknüpfung von Hören und Sehen basiert, hat gerade die Verknüpfung von Wahrnehmungsmodalitäten also Folgen, die nicht einfach aus den Eigenschaften der jeweiligen Sinne ableitbar sind.

Exner ist sich sehr wohl bewusst, dass es sich beim Problem der persönlichen Gleichung nicht in erster Linie um eine Frage der Reaktionszeit handelt. Zwar hatte auch er sich mit der Nervenleitgeschwindigkeit beschäftigt, den dritten Teil seiner Abhandlung widmet er aber der Fähigkeit, die bei der Arbeit mit der Auge-Ohr-Methode tatsächlich gefragt ist – nämlich Sinneseindrücke räumlich und zeitlich voneinander zu unterscheiden.⁵⁰

Ausgangspunkt dieser Untersuchung ist ein Elektromotor: von Helmholtz' elektromagnetischer Rotationsapparat. Er treibt eine waagrecht liegende Scheibe an, unter der zwei Metallstreifen „wie Uhrzeiger“ angebracht sind. Jeder der Streifen ist am Ende um 90° geknickt, so dass er im Verlauf einer Umdrehung in jeweils eine passend angebrachte quecksilbergefüllte Schale taucht. Metallstreifen und Schalen stehen unter Strom, wodurch im Moment der Berührung ein Funke überspringt. Die Position der Schalen kontrolliert dabei den räumlichen Abstand der Funken, der Winkel zwischen den Metallstreifen den zeitlichen.⁵¹

Nachdem Exner die kleinste zeitliche Differenz bestimmt hat, die er zu unterscheiden in der Lage ist, wiederholt er das Experiment unter veränderten Bedingungen. Er nimmt einen weiter entfernten Beobachterstandpunkt ein. Dies hat zur Folge, dass der scheinbare Abstand beider Funken kleiner wird. Erstaunlicherweise wird damit die kleinste unterscheidbare zeitliche Differenz ebenfalls kleiner – die zeitliche Auflösung des Sehens scheint sich also für kleinere räumliche Abstände zu verbessern. Grund dafür ist ein bisher nicht beschriebenes Phänomen: Bei kleineren Abständen neigt ein Beobachter augenscheinlich dazu, statt zweier getrennter, einen sich bewegenden Funken wahrzunehmen. Im Anfang und Ende dieser Bewegung ist nun direkt das Vorher-Nachher ihrer Abfolge enthalten, womit der Betrachter die zeitliche Differenz beider Funken leichter als solche erkennen kann.

Für Exner stellt das Phänomen eine „scheinbare“ oder „Scheinbewegung“ dar, ihr „Einmischen“ in die Untersuchung der Grenzen der Wahrnehmung ist zu vermeiden.⁵² Während er zu Beginn der Abhandlung noch auf die scheinbare Bewegung der Astronomie verweist, benutzt er das Attribut „scheinbar“ jetzt nicht länger um den Bezug zum Beobachterstandpunkt anzuzeigen, sondern im Sinne einer falschen, unwirklichen, nicht vorhandenen oder „vorgetäusch-

50 Sigmund Exner. »Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse: III. Abhandlung«. In: *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere* 11 (1875), S. 403–432.

51 Ebd., S. 406–407.

52 Ebd., S. 410.

ten“⁵³ Bewegung. Das Einmischen dieser neuen Art scheinbarer Bewegung zu verhindern, ist aber äußerst schwer. Und obwohl Exner sie nur untersucht, um ihren Einfluss auf seine Messungen ausschließen zu können, diskutiert er dieses Phänomen zum Schluss seiner Abhandlung doch:

Ich will nicht unerwähnt lassen, dass [...] die Tendenz, eine Bewegung zu sehen so gross ist, dass selbst wenn die beiden Gesichtseindrücke im Sehfeld weit voneinander entfernt liegen, sie gelegentlich immer noch als Anfangs- und Endpunkte einer Bewegung aufgefasst werden. [...] Ja selbst bei den Versuchen, bei welchen ein elektrischer Schlag die linke Hand trifft und einen Moment später auf der anderen Seite des Beobachters ein Funke überspringt, ist die Tendenz fühlbar, eine blitzartige Bewegung anzunehmen. [...] Es ist, als wäre man gezwungen, Zeitdifferenzen, wo irgend möglich als Bewegung aufzufassen, wie wir z.B. in der That gezwungen sind, jede Netzhautreizung räumlich aufzufassen.⁵⁴

Damit diese scheinbare Bewegung aber über Exners Spekulationen hinaus selbst den Status eines epistemischen Dings bekommen kann, muss sich zunächst die Rolle von Wahrnehmungstäuschungen in der Psychologie verschieben.

1.2.1 *Reine Bewegungserscheinung*

Der Text „Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung“⁵⁵ von Max Wertheimer gilt als ein Gründungsdokument der Gestaltpsychologie.⁵⁶ Grundproblem dieser Studien ist für Wertheimer die Erfahrung des Bewegungssehens. Scheinbarer Bewegung kommt in der Untersuchung dieser Erfahrung eine zentrale Rolle zu. Die Entscheidung, mit scheinbarer Bewegung zu arbeiten, muss Wertheimer aber auch „in a climate in which the study of illusions had changed“⁵⁷ noch ausführlich begründen. Auf das Wesen des Bewegungssehens Bezug nehmend schreibt er: „Wäre es nun nicht, will man seinem Wesen näherkommen, ein verkehrtes Unternehmen von »Scheinbewegung« auszugehen?“ Natürlich ist diese rhetorische Frage zu vernei-

53 Exner zitiert nach Max Wertheimer. »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«. In: *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 61 (1912), S. 161–265, S. 223.

54 Exner, »Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse: III. Abhandlung«, S. 431.

55 Wertheimer, »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«.

56 Robert M. Steinman, Zygmunt Pizlo und Filip J. Pizlo. »Phi is not beta, and why Wertheimer's discovery launched the Gestalt revolution«. In: *Vision Research* 40 (2000), S. 2257–2264.

57 David M. Eagleman. »Visual illusions and neurobiology«. In: *Nature Reviews Neuroscience* 2 (2001), S. 920–926, S. 920.

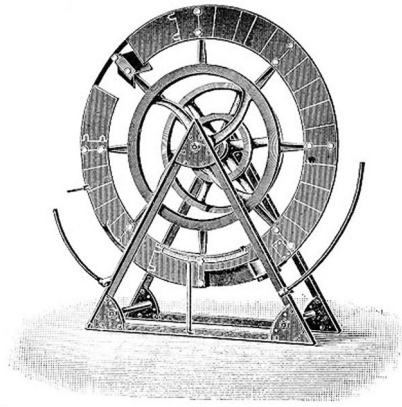


Abbildung 2: Tachistoskop nach Schumann (aus Spindler & Hoyer. *Apparate für psychologische Untersuchungen*. Preisliste. Göttingen, 1908, S. 168).

nen: Gerade die Reduktion auf die „technisch einfachsten Verhältnisse“, die die Arbeit mit scheinbarer Bewegung ausmachen, könnte es ermöglichen, so Wertheimer, konstitutive Elemente des „wirklichen, eindringlich gegebenen Sehen[s] von Bewegung“ herauszulösen und „experimentelle Bausteine zu theoretischen Entscheidungen zu gewinnen“⁵⁸.

Scheinbare Bewegung rückt somit von ihrer Rolle als Grenze des zu Untersuchenden ins Zentrum der Untersuchung selbst. Diese Verschiebung hat vor allem methodische Gründe: Technische Apparaturen, wie sie mit dem Rotationsapparat schon Exners „Entdeckung“ scheinbarer Bewegung zu Grunde lagen, ermöglichen die genaue Kontrolle scheinbarer Bewegung. Mit seinen experimentellen Studien kehrt Wertheimer also die Rolle scheinbarer Bewegung um, schließt zugleich aber technisch an die Arbeit Exners an. Dank technologischer Kontrolle kann Wertheimer Art und Präsentationsdauer der Reize sowie die Pause dazwischen als Variablen a , b und t parametrisieren und systematisch variieren. Auch hier erweist sich der Forschungsgegenstand als aufs engste verknüpft mit dem Experimentalsystem seiner Untersuchung. Scheinbare Bewegung erscheint so als „Objekt experimentalpsychologischen Wissens namens stroboskopische Erscheinungen, das sich an Apparaturen namens Stroboskop und Kinematograph der Beobachtung stellt und dessen Beobachtung und Deutung zugleich durch diese Apparate instruiert ist.“⁵⁹

Konkret setzt Wertheimer das Schumann'sche Tachistoskop ein (Abbildung 2), das er als Stroboskop benutzt. Dieses Rotations-

⁵⁸ Wertheimer, »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«, S. 167-168.

⁵⁹ Christoph Hoffmann. » ϕ -Phänomen Film. Der Kinematograph als Ereignis experimenteller Psychologie um 1900«. In: *Die Adresse des Mediums*. Hrsg. von Stefan Andriopoulos, Gabriele Schabacher und Eckhard Schumacher. Köln: DuMont, 2001, S. 236-252, S. 236.

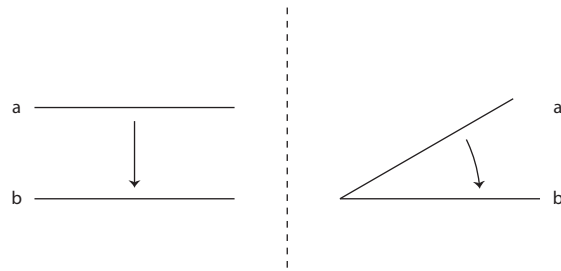


Abbildung 3: Typische Stimuli a und b, sowie die scheinbare Bewegung zwischen ihnen (nach Max Wertheimer. »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«. In: *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 61 (1912), S. 161–265, S. 264).

tachistoskop besteht aus einem Rad dessen äußerer Ring sich an acht Positionen aufschieben lässt, so dass hier der Blick auf ein dahinterliegendes Objekt freigegeben wird. Wertheimer benutzt als a und b meist zwei Linien, die parallel zueinander stehen oder die Schenkel eines Winkels bilden (Abbildung 3). Ein geschickter Aufbau aus einem Prisma und den Öffnungsschlitten des Tachistoscops stellt sicher, dass a und b abwechselnd zu sehen sind. Die Pause t bestimmen Rotationsgeschwindigkeit und Länge der Öffnungsschlitzte.⁶⁰ a, t, b erscheint also als Film – als rhythmisch flimmernde Abfolge der beiden Reize und der Pause zwischen ihnen.

Der Bewegungseindruck als der „psychische Sachverhalt“, der subjektiv aus der Präsentation der Folge a, t, b entsteht, als das, „was außer den Wahrnehmungen von a und b da ist, was zwischen a und b in den Zwischenraum zwischen a und b vor sich geht, was zu a und b hinzukommt“, das nennt Wertheimer φ .⁶¹ Dieses wortreich eingeführte φ soll im Folgenden Zentrum und Ziel der experimentellen Studien werden. Die Argumentation stützt sich wesentlich auf die Konstruktion zweier Thesen, die für Wertheimer den gemeinsamen Nenner aller Theorien seiner Zeit zur Bewegungswahrnehmung darstellen:

- I. φ ist etwas, a und b einheitlich betreffendes, sich auf ihnen aufbauendes, sie beide fassendes und verbindendes.
- II. Der phänomenale Inhalt von φ ist durch subjektive Ergänzung [...] der objektiv nicht vorhandenen raum-, zeit-kontinuierlichen Zwischenlagen gegeben.⁶²

Die Funktion dieser Thesen ist vor allem die einer Angriffsfläche: „Die Beobachtung der Erscheinung wies aber in andere Richtung. Der Fortgang ergab immer klarer, daß hier ein eindringlich gegebenes Spezifisches vorliegen müsse; und führte schrittweise zu Versuchen,

⁶⁰ Wertheimer, »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«, S. 175–177.

⁶¹ Ebd., S. 186.

⁶² Ebd.

an der als notwendig erscheinenden absoluten Verkettung $a \varphi b$ zu rütteln“.⁶³

Für die Wahrnehmung der Folge a, t, b unterscheidet Wertheimer drei grundsätzliche Stadien: Simultanruhe besteht, wenn a und b gleichzeitig zu sehen sind, bei großem t ist keine Bewegung sondern Sukzessivruhe als die getrennte Empfindung von unbewegten a und b zu sehen. Bei geeignetem kleinen t erst stellt sich der Eindruck optimaler Bewegung ein.⁶⁴

Bei dem Versuch an der absoluten Verkettung $a \varphi b$ zu rütteln, liefert Wertheimer zunächst „experimentelle Bausteine“, die zeigen, dass nicht Nachbilder von a und b , nicht die Verlagerung der Aufmerksamkeit von a auf b und auch nicht Augenbewegungen für den Bewegungseindruck verantwortlich sein können.⁶⁵ Vor allem aber liefert er Bausteine, die die Rolle von a und b als zusammenhängend Bewegtes generell in Frage stellen. Dazu verlagert er den Fokus der Experimente auf die „Zwischenphänomene“, die nicht den drei grundsätzlichen Stadien entsprechen und die man bisher lediglich als „nicht so schöne Bewegung“ abgetan habe.⁶⁶ Vergrößert man t von der optimalen Bewegung ausgehend, gelangt man in einen Bereich, in dem zwar noch ein Bewegungseindruck besteht, dieser aber keiner kohärenten Bewegung von a nach b entspricht, sondern vielmehr phänomenal in „Teilbewegungen“ zerfällt (Abbildung 4).⁶⁷ Zwischen a und b erscheinen zwei unvollständige Bewegungen, die jeweils nur einen Teilbereich des Zwischenraumes in Bewegung geraten lassen. φ ist also kein notwendigerweise beide Objekte umfassendes Ganzes. Es ist auch nicht an die Wahrnehmung einer Identität $a = b$ gebunden: Ein Bewegungseindruck kann auch dann entstehen, wenn a und b als unterschiedlich wahrgenommen werden.⁶⁸ Auch kann eine scheinbare Bewegung $a \varphi b$ ein drittes Objekt c im Sichtfeld in scheinbare Bewegung versetzen oder den Eindruck einer zweiten Bewegung $c \varphi d$ verbessern.⁶⁹

Schließlich zeigt Wertheimer, dass φ als Phänomen nicht auf der interpolierenden Ergänzung von Eindrücken der Zwischenlagen zwischen a und b basiert. Zunächst beobachtet er, dass die Versuchspersonen nicht immer wenn sie von einem Bewegungseindruck berichten, auch angeben, dass sie b bewusst wahrgenommen haben. Mehr noch: Wertheimer gelingt es auch dann einen Bewegungseindruck zu induzieren, wenn gar kein b gezeigt wird. Im Verlauf einer Serie von Präsentationen von a und b entfernt er während kurzer Pausen bisweilen b aus der Versuchsanordnung. Bei der anschließenden Präsen-

63 Ebd.

64 Ebd., S. 165.

65 Vergleiche hierzu vor allem die Zusammenfassung ebd., S. 239-246.

66 Ebd., S. 191.

67 Ebd., S. 190-194.

68 Ebd., S. 186-190.

69 Ebd., S. 201-203.

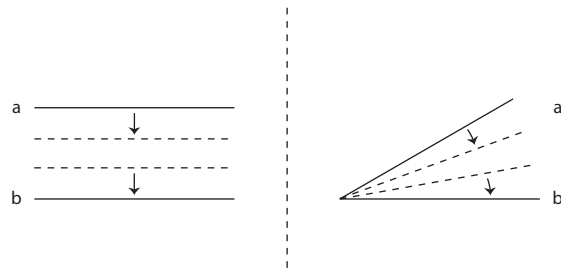


Abbildung 4: Das Zerfallen in Teilbewegungen als Zwischenphänomen (nach Max Wertheimer. »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«. In: *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 61 (1912), S. 161–265, S. 192.193).

tation des flimmernden *a* bleibt der Bewegungseindruck bestehen.⁷⁰ Er scheint von den vorangegangenen Expositionen „prädisponiert“⁷¹. Darüber hinaus ist der Bewegungseindruck zwischen *a* und *b* auch dann vorhanden, wenn bewusst keine Zwischenlage wahrgenommen wird und sogar dann, wenn sich im Feld zwischen *a* und *b* andere Objekte befinden, die nicht Teil der Bewegung sind.⁷²

Bewegung scheint also kein kohärent vorhandenes *Bewegtes* zu erfordern. Es scheint so etwas wie „reine Bewegungserscheinung“⁷³ zu existieren, ein Phänomen, dass auch Objekte erfassen kann, die nicht an der Bewegung beteiligt sind. Nicht *a* und *b* stehen damit im Zentrum der Untersuchung, sondern die Isolierung eines reinen ϕ . Dieses reine ϕ ist nicht bewegtes Objekt, es hat nicht einmal die Farbe von *a* und *b*.⁷⁴ Hier scheint das Sehfeld selbst in Bewegung. Reine Bewegungserscheinung ist gewissermaßen nicht bewegter Vordergrund (Figur) sondern bewegter Hintergrund.⁷⁵

Das Isolieren reiner Bewegung ermöglicht es Wertheimer nun, eine „physiologische Erklärung“⁷⁶ der Erfahrung des Bewegungssehens anzudeuten, die das Verhältnis der Wahrnehmung von Objekten und ihrer Bewegung vollends umkehrt: Der Bewegungseindruck ist, argumentiert er, zurückzuführen auf einen „gerichteten Kurzschluss“ von der zuerst gereizten Region *a* zur anschließend gereizten Region *b* des Sehfelds. Jede Reizung des Sehfelds würde nach diesem Modell die Umgebung für einen solchen Kurzschluss empfänglich machen, die folgende Reizung ihn dann auslösen. Damit würde sich erklären, warum zwei Reize, die zeitlich so weit auseinanderliegen,

⁷⁰ Wertheimer, »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«, S. 216–218.

⁷¹ Ebd., S. 219.

⁷² Ebd., S. 221–225.

⁷³ Ebd., S. 221.

⁷⁴ Ebd., S. 222–225.

⁷⁵ Vergleiche hierzu Steinman, Pizlo und Pizlo, »Phi is not beta, and why Wertheimer's discovery launched the Gestalt revolution«.

⁷⁶ Zum Folgenden vergleiche Wertheimer, »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«, S. 247–250.

dass sie nicht miteinander kurzgeschlossen werden, den Eindruck von Teilbewegungen hervorrufen. Nimmt man an, dass die Reizung mit der Zeit akkumuliert wird und über die Reizung hinaus nachwirkt, erklärt dies auch die Prädisposition für das Bewegungssehen nach dem vorangegangenen Wahrnehmen von Bewegung. Die reine Bewegungserscheinung, sichtbar in der Teilbewegung, beim Mitbewegen eines dritten Objektes oder bei der Bewegungswahrnehmung durch Disposition bekäme so ein „physiologische[s] Korrelat“. Der Eindruck reiner Bewegung in Teilen des Sehfeldes wäre so nichts anderes, als die phänomenale Entsprechung der für einen gerichteten Kurzschluss bereiten Bereiche.

Die Wahrnehmung einer zusammenhängenden Gestalt aus zwei räumlich getrennten Reizen a und b , der Zustand der Simultanruhe, in dem a und b beispielsweise einen ruhenden Winkel bilden, wird dann zum Spezialfall des Bewegungssehens: Sind Kurzschlüsse von a nach b und von b nach a *zur gleichen Zeit* möglich, entsteht Gestaltwahrnehmung als ein „einheitlicher, aus den physiologischen Einzelerregungen als Ganzes resultierender Gesamtprozess“ – a und b erscheinen als „duo in uno“. Die Wahrnehmung von Bewegung φ geht in dieser Erklärung der Gestaltwahrnehmung voraus. Letztere ist als „Simultan- φ -Funktion“ ein Spezialfall des Bewegungssehens.⁷⁷ Gestalt wird so zu einem „rasenden Stillstand“⁷⁸.

Wertheimers Kurzschlüsse bilden „Quer- und Gesamtvorgänge“⁷⁹, die in dem Sinne nicht-lokal sind, als dass sie die in Bewegung versetzten Teile des Sehfeldes miteinander in Beziehung setzen und dabei unter günstigen Bedingungen reine Bewegungserscheinung in die Wahrnehmung einer gerichteten Bewegung $a \varphi b$ verwandeln. Dieses Modell einer übergreifenden Konstitution des Bewegungseindrucks problematisiert „die bis dahin selbstverständliche Annahme, dass der Bewegungseindruck restlos durch die Reizgrundlage konstituiert wird“⁸⁰. Auch wenn die physiologische Plausibilität dieser Erklärung aus heutiger Sicht in Frage zu stellen ist⁸¹, ist Wertheimers Ansatz doch ein gutes Beispiel für die Argumentationsweise der Gestaltpsychologie, die nicht einfach Stimuli (a und b) voraussetzt und ihnen Sinneseindrücke (deren φ) nachordnet, sondern die die Eigenschaften der Stimuli als Produkte eines strukturellen Gesamtzusammenhangs auffasst. Nicht a und b verursachen nach diesem Modell φ , sondern φ macht a und b erst zu dem, was sie sind – Stationen einer Bewegung. In den Worten Wertheimers:

⁷⁷ Ebd., S. 251.

⁷⁸ Ein Begriff, der von Paul Virilio geprägt wurde, hier aber noch eine andere Rolle spielen wird (vergleiche 7.2.1).

⁷⁹ Wertheimer, »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«, S. 251.

⁸⁰ Hoffmann, » φ -Phänomen Film. Der Kinematograph als Ereignis experimenteller Psychologie um 1900«, S. 245.

⁸¹ Steinman, Pizlo und Pizlo, »Phi is not beta, and why Wertheimer's discovery launched the Gestalt revolution«, S. 2261.

Man könnte das Grundproblem der Gestalttheorie etwa so zu formulieren suchen:

Es gibt Zusammenhänge, bei denen nicht, was im Ganzen geschieht, sich daraus herleitet, wie die einzelnen Stücke sind und sich zusammensetzen, sondern umgekehrt, wo – im prägnanten Fall – sich das, was an einem Teil dieses Ganzen geschieht, bestimmt von inneren Strukturgesetzen dieses seines Ganzen.⁸²

1.2.2 Uneindeutige Bewegung

Betrachtet man eine Umrisszeichnung eines dreidimensionalen Würfels in einer zweidimensionalen Darstellung bei der alle Kanten zu sehen sind, wird die Wahrnehmung *uneindeutig*: Vorder- und Rückseite des Würfels scheinen die Rollen zu tauschen. Es handelt sich um eine „Kippfigur“. Da Luis Albert Necker 1832 als erster darüber berichtete, ist solch ein Würfel bis heute als „Necker-Würfel“ bekannt.⁸³

Die Psychologie bezeichnet Sinneseindrücke, und damit Wertheimers beim Wahrnehmen „eindringlich Gegebenes“, traditionell als „Perzept“. Und da die Wahrnehmung des Necker-Würfels zwei stabile Perzepte besitzt, spricht man bei solchen Kippfiguren von bistabiler Wahrnehmung. Allgemein werden solche uneindeutigen Phänomene unter der Überschrift der multistabilen Wahrnehmung verhandelt. Für die Psychologie ist multistabile oder uneindeutige Wahrnehmung interessant, weil hier objektiv vorhandene Stimuli von den subjektiv erlebten Perzepten, die sie hervorrufen, entkoppelt sind: „Multistable stimuli are invaluable tools for the study of the neural basis of visual awareness, because they allow us to distinguish neural responses that correlate with basic sensory features from those that correlate with perception“.⁸⁴ Während der Stimulus unverändert bleibt, kippt das Perzept unwillkürlich⁸⁵ zwischen den stabilen Zuständen hin und her, wobei jeder Zustand für sich genommen *exklusiv* und *eindeutig* ist: Nie sieht man beide möglichen Vorderseiten des Würfels zur gleichen Zeit vorne. Die Wahrnehmung „disambiguiert“ uneindeutige (oder ambige) Stimuli zu eindeutigen Perzepten.

Scheinbare Bewegung, zu vermeidende Täuschung bei Exner und exakt kontrollierbares Experimentalsystem bei Wertheimer, ist eben-

82 Max Wertheimer. »Was ist, was will Gestalttheorie?« In: *Philosophische Zeitschrift für Forschung und Aussprache* 1 (1925), S. 39–60.

83 L. A. Necker. »Observations on some remarkable optical phaenomena seen in Switzerland; and on an optical phaenomenon which occurs on viewing a figure of a crystal or geometical solid«. In: *London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science* 1 (1832), S. 329–337.

84 Eagleman, »Visual illusions and neurobiology«, S. 922.

85 Wie unwillkürlich das ist und welchen Einfluss etwa Aufmerksamkeit darauf hat ist bis heute nicht geklärt. Vergleiche hierzu zum Beispiel David A. Leopold und Nikos K. Logothetis. »Multistable phenomena: changing views in perception«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 3.7 (1999), S. 254–264 und vor allem Kapitel 7

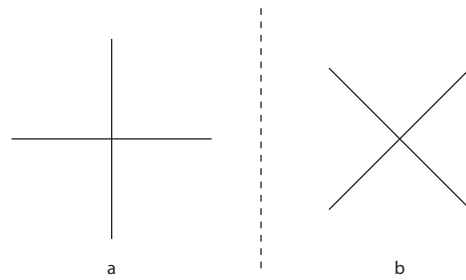


Abbildung 5: Uneindeutige Bewegung nach Linke (eigene Darstellung).

falls Grundlage eines solchen Phänomens: Bereits 1907 berichtet Paul Linke – ein Schüler Wundts und einer der Vertreter der Theorie, der Bewegungseindruck ϕ sei die Folge der Annahme einer Identität von a und b ⁸⁶ – von einem Experiment, bei dem als Stimuli a und b jeweils ein Kreuz verwendet wird, dessen Lage in b gegenüber a um 45° gedreht und dessen Drehrichtung damit uneindeutig ist (Abbildung 5): „Es konnte da rein geometrisch eine Drehung im Sinne des Uhrzeigers oder eine in entgegengesetzter Richtung erfolgen“⁸⁷, beschreibt Paul von Schiller 1933 einen Sachverhalt, der heute als „uneindeutige scheinbare Bewegung“ oder verkürzt „uneindeutige Bewegung“ bezeichnet wird. Dieses Phänomen scheint dabei zunächst keinen Gesetzen zu folgen: „Linke fand, daß bei einer Neigung von 45° der beiden Kreuze zueinander, *gar keine Gesetzmäßigkeit* besteht.“⁸⁸ Wie der Necker-Würfel ist auch dieser Stimulus bistabil. Wenn man die beiden Kreuze wiederholt als stroboskopische Animation sieht, kippt die wahrgenommene Bewegungsrichtung zwischen den beiden Möglichkeiten.

Anders als Wertheimer, für den das Ziel seiner experimentellen Studien ein Verstehen des Zustandekommens des Bewegungseindrucks war, stellt von Schiller aber klar, dass es ihm darum geht, Gesetzmäßigkeiten zu bestimmen: Sind in einem stroboskopischen Versuch zwei Bewegungen möglich, sollte das Wegfallen einer der Alternativen einem Gesetz gehorchen. Denn wie bei allen multistabilen Phänomenen ist auch hier subjektiv tatsächlich immer nur eine der Alternativen gegeben: Die Kreuze scheinen sich *entweder* im Uhrzeigersinn *oder* dagegen zu drehen – wie alle Kippfiguren ist auch die uneindeutige scheinbare Bewegung exklusiv. „Linkes Alternativversuch hat den Anschein, als wäre der Ausfall einer stroboskopischen Alternative subjektiv und ohne Gesetzmäßigkeiten“, formuliert von Schiller. Dieser „Beliebigkeitstheorie“ stellt er die Suche nach „strengen“⁸⁹ Ge-

86 Hoffmann, » ϕ -Phänomen Film. Der Kinematograph als Ereignis experimenteller Psychologie um 1900«, S. 244-245.

87 Paul von Schiller. »Stroboskopische Alternativversuche«. In: *Psychologische Forschung* 17 (1933), S. 179-214, S. 180.

88 Ebd., Hervorhebung im Original.

89 Ebd.

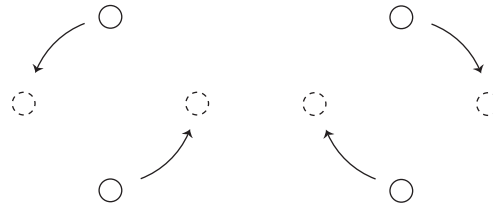


Abbildung 6: Beispiel für Stimuli bei von Schiller und deren gleichwahrscheinliche Perzepte: Bewegung im Uhrzeiger- oder Gegen- uhrzeigersinn (eigene Darstellung).

setzen entgegen und fragt: „Was bestimmt den Ausfall einer stroboskopischen Bewegungsalternative?“⁹⁰

Die Suche knüpft an zahlreichen Punkten an die Arbeit Wertheimers an, Ergebnis ist eine umfassende Studie zum Zusammenhang von Form, Farbe oder Ausgangslage von a und b mit Form und Richtung der wahrgenommenen Bewegung. Mittels qualitativer Analyse nimmt sie, wie schon die Arbeit Wertheimers, zahlreiche quantitative Ergebnisse der zeitgenössischen experimentellen Psychologie vorweg.⁹¹ Bei der Untersuchung des Einflusses der Aufmerksamkeit erwähnt von Schiller aber eine bemerkenswerte Beobachtung, die bei ihm zwar keine weitere Beachtung erfährt, sich im Kontext der heutigen Forschung und dieser Arbeit aber als sehr wichtig erweisen wird. Als er seine Versuchspersonen (im Text als „Vpn.“ bezeichnet) anweist, das Kippen der Wahrnehmung gezielt herbeizuführen und dabei eine bestimmte Drehrichtung zu favorisieren beobachtet er:

Das Kippenlassen war am erfolgreichsten, nicht wenn die neue Fassung *optisch* vorgestellt, sondern wenn versucht wurde sie *motorisch* zu erleben. [...] Ich beobachtete sogar einige Vpn., die in der kurzen Zwischenpause im Serienversuch Körperbewegungen mit dem Kopf oder, seltener, auch mit einem Arm oder mit dem Rumpf ausführten, was oft, aber nicht immer zum gewünschten Erfolg führte.⁹²

Und in einer Fußnote ergänzt er: „Hier haben wir es mit einem Fall zu tun, wo motorische Vorgänge von gestaltendem Einfluß auf die optische Wahrnehmung sind.“⁹³

Für von Schiller verdient diese Beobachtung noch keine eingehende Untersuchung. Während er nämlich die Parameter der Präsen-

⁹⁰ von Schiller, »Stroboskopische Alternativversuche«, S. 181, Hervorhebung im Original.

⁹¹ Vergleiche hierzu Kapitel 7.

⁹² von Schiller, »Stroboskopische Alternativversuche«, S. 196, Hervorhebungen im Original.

⁹³ Ebd.

tion von Stimuli exakt kontrollieren kann, lassen sich motorische Bewegungen keiner solchen Kontrolle unterziehen. Er hält daher fest: „Die Feststellung der Gesetzmäßigkeiten wird durch einige schwer zu berechnende Faktoren gestört.“⁹⁴ Zu diesen Faktoren gehören auch die Willkürbewegungen seiner Versuchspersonen. Mit dem Beschluss, die schwer zu berechnenden Faktoren zu ignorieren, nimmt er sich allerdings die Möglichkeit, den Zusammenhang von motorischer Bewegung und Bewegungswahrnehmung systematisch zu untersuchen – eine Entscheidung, die in der Experimentalpsychologie bis in die 1990er Jahre nicht in Frage gestellt werden wird.

Seine Beobachtung macht aber bereits hier klar, dass nicht nur – wie bei der Auge-Ohr-Methode – die Verknüpfung verschiedener Wahrnehmungsmodalitäten zu ihrer gegenseitigen Beeinflussung führen kann. Auch könnten wir nicht nur gezwungen sein, „Zeitdifferenzen, wo irgend möglich als Bewegung aufzufassen“. Das „Ganze“ der Wahrnehmung von Bewegung könnte vielmehr neben unserer Sensorik auch unserer Motorik umfassen. Es könnte also sein, dass ein „observer in action“ gezwungen ist, auch die eigenen motorischen Bewegungen in die wahrgenommenen zu integrieren und sich so unwillkürlich und unmittelbar als wirksam wahrzunehmen: Wir nehmen wahr, wie wir handeln.

⁹⁴ Ebd., S. 195.

Teil II

FEEDBACK/MASCHINEN

Unabhängig voneinander haben die Nachrichten- und Regelungstechnik der 1920er und 30er Jahre mit dem selben Problem zu kämpfen: Ob in der Konstruktion elektromechanischer Analogrechner oder beim Bau von Verstärkern für gesprochene Sprache – es werden Mechanismen zur automatischen Verfolgung eines veränderlichen Signals benötigt. Die Lösungen, die in beiden Feldern entwickelt werden, basieren auf Feedback. In der Folge dieser Entwicklung kommt es zu einem Paradigmenwechsel in der Nachrichten- und Regelungstechnik. Unter dem Prinzip des Feedbacks werden beide vormals separaten Felder zu einer einzigen „klassischen“ Regelungstechnik vereinigt, die statt von Bewegung, Strom oder Sprache von Signalen und Information spricht. Bei der Beschäftigung dieser Disziplin mit militärischer Feuerleitung werden schließlich auch die menschlichen Bediener technischer Systeme dem Prinzip Feedback unterworfen. Damit wird eine Radikalisierung der Regelungstechnik zu einer Universalwissenschaft vorbereitet, die Norbert Wiener schließlich Kybernetik nennen wird. Feedback als „epistemisches Ding“ kommt so die Rolle zu, eine „epistemische Erschütterung“ auszulösen, die bis heute anhält. Mit ihm wird das Verhältnis von Mensch und Maschine als „zirkulär“ beschreibbar, was sich als ein zentraler Punkt dieser Arbeit erweisen wird.

2.1 A GENERALIZED TRAINER

Etwa zur gleichen Zeit, in der die Versuchspersonen der Experimentalpsychologie technisch kontrollierte scheinbare Bewegung betrachten, verfolgen andere Personen ganz anders geartete aber nicht minder technisch erzeugte Bewegung: Der erste Weltkrieg hatte das Fliegen in eine kriegswichtige Technologie verwandelt und zunehmend richten sich die Augen von Menschen am Boden auf Flugzeuge am Himmel und die von Piloten auf ihre Instrumente – auch und gerade auf solche, die die Parameter des Fliegens nur zu zeigen scheinen. Denn, wie Claus Pias festhält: „Während im Ersten Weltkrieg Fliegenlernen letztlich nur bedeutete, zu fliegen oder abzustürzen, entwickelten die zwanziger Jahre jene Methoden des Trainings an Instrumenten, die man wegen des Aussetzens des Realen so treffend »Blindflug« nennt.“¹ Damit die Instrumente früher Flugsimulatoren aber etwas zeigen können, das einen tatsächlichen Lerneffekt für die Flugschüler ermöglicht, müssen sie dem realen Verhalten eines Flugzeuges entsprechend auf sie reagieren. Um das zu erreichen, wird die Umwelt zunächst durch Fluglehrer ersetzt: Sie stellen die Anzeigen

¹ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 52.

der Simulatoren manuell ein und reagieren gemäß ihres Wissens über die Dynamik des Fliegens auf die Handlungen ihrer Schüler.²

Dieses Wissen wandert in der Folge sukzessive in Maschinen: mechanische und elektrische Schaltungen implementieren die relevanten Teile der Theorie der Aerodynamik und erlauben es, Maschinen zu bauen, die ein Reagieren im Sinne des Lernziels inkorporieren. Mit dem Fortschreiten dieser Entwicklung kommt in den 1940er Jahren die Idee auf, Flugsimulatoren mit austauschbarer Dynamik zu konstruieren, die als „generalized trainer“³ beliebige existierende oder zukünftige Flugzeuge simulieren sollen. Solche Simulatoren würden eine Doppelfunktion erfüllen: Würden sie zum einen dem Training von Flugpersonal im Blindflug dienen, könnten man mit ihnen zum anderen neue Flugzeugtypen schon vor ihrem Bau testen.⁴ Im Auftrag der *Special Devices Division* des U.S. Büros für Aeronautik wird so 1943 ein Projekt begonnen, dessen Ziel ein solcher generalisierter Simulator ist: der *Aircraft Stability and Control Analyzer* (ASCA).⁵ Den Auftrag für den Bau des ASCA erhält das MIT. Er soll unter der Leitung der Ingenieure Jay Forrester und Robert Everett am *Servomechanisms Laboratory* des *Electrical Engineering Department* entwickelt werden.

Aus heutiger Sicht mag diese Entwicklung natürlich erscheinen. Dass man aber 1943 überhaupt eine Maschine wünschen kann, die erstens die Gleichungen der Aerodynamik berechnet, auf die zweitens während der Berechnung eingewirkt werden kann und die drittens unmittelbar auf dieses Einwirken zu reagieren in der Lage ist, ist zunächst alles andere als natürlich. Die Denkbarekeit einer solchen Maschine ist vielmehr Folge einer Entwicklung in der ingenieurwissenschaftlichen Regelungstechnik der Vorkriegszeit. Im Zuge dieser Entwicklung kommt es, wie wir sehen werden, zu einem Paradigmenwechsel und *Feedback* wird zum zentralen Begriff und sein Einsatz zur zentralen Methode dieses Feldes. Die Idee eines „generalized trainer“ ist schließlich genau so Folge dieses Paradigmenwechsels in der Regelungstechnik, wie das *Servomechanisms Laboratory*, das den Auftrag erhält, ihn zu bauen. Vor allem aber führt diese Entwicklung zum Entstehen eines neuen wissenschaftlichen Feldes, das zwar nur eine kurze Blüte erleben, aber bis heute wirksam bleiben sollte: der Kybernetik.⁶

² Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 52.

³ Robert Everett. »Whirlwind«. In: *A History of Computing in the Twentieth Century*. Hrsg. von J. Howlett, Gian Carlo Rota und Nicholas Metropolis. Orlando: Academic Press, 1980, S. 365.

⁴ Kent C. Redmond und Thomas M. Smith. *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*. Bedford, MA: Digital Press, 1980, S. 2.

⁵ Ebd., S. 51.

⁶ Zum Folgenden vergleiche auch Lasse Scherffig. »The Human Being as a Servo. Von Feedback Control zur Kybernetik«. In: *Informatik 2009. Im Fokus das Leben*. Hrsg. von Stefan Fischer, Erik Maehle und Rüdiger Reischuk. Lecture Notes in Informatics – Proceedings. Bonn: GI, 2009, S. 766–776, sowie Lasse Scherffig. »Feedback: Vom

2.2 FEEDBACK TAKES CONTROL

2.2.1 Analog Rechnen

Zu Beginn der 1920er Jahre dient das *Electrical Engineering Department* des MIT noch ganz eindeutig dem *electrical engineering*: Die flächen-deckende Elektrifizierung der amerikanischen Infrastruktur befindet sich noch an ihrem Anfang und die Beratungsfirma *Jackson and Moreland* unterstützt die Energieversorger des amerikanischen Nordwestens dabei, Strom aus kanadischer Wasserkraft in die Netze Neuenglands und New Yorks einzuspeisen. Einer der Besitzer der Firma ist Dugald C. Jackson, der auch das *Electrical Engineering Department* leitet.⁷

Unter seiner Leitung untersucht die Abteilung das Verhalten von Stromnetzen. Zunächst geschieht das mit Hilfe von Miniatur-Stromnetzen, die es erlauben, das Verhalten echter Netze unter Laborbedingungen zu studieren.⁸ Diese Miniaturnetze sind strukturell mit ihren großen Vorbildern identisch. Sie bilden damit ein eigenschaftsgleiches Analogon zu echten Stromnetzen und sind in diesem Sinne frühe Analogrechner. Tatsächlich wird das Wort „analog“ bis in die 1950er Jahre hinein vor allem für solche Modelle gebraucht werden.⁹ Eigenschaftsgleiche Analogmodelle werden so von bildhaften oder formalen Modellen unterschieden.¹⁰

Die Miniaturnetze des *Electrical Engineering Department* werden bald von anderen Schaltungen begleitet: Die Abteilung experimentiert mit elektromechanischen Systemen, die nicht mehr direkt die Eigenschaften der simulierten Netze abbilden, sondern formale Modelle dieser Netze berechnen. Diese Forschung wird wesentlich von Vannevar Bush, zu dieser Zeit Professor für Elektrotechnik am MIT, und Norbert Wiener, der dort Mathematik lehrt, vorangetrieben.¹¹ Unter ihnen arbeiten Ingenieure wie Harold Hazen, der 1920 als Student in die Abteilung kommt, an solchen rechnenden Schaltungen. Das berühmteste Ergebnis dieser Arbeit ist Bushs *Differential Analyzer*, an dem Hazen maßgeblich beteiligt ist.

Der direkte Vorläufer des *Differential Analyzer* ist der *Product Integrator*, der die Netzwerk-Gleichungen des Ingenieurs John R. Car-

Unding zur Sache«. In: *Code und Material: Exkursionen ins Undingliche*. Hrsg. von Georg Trogemann. Wien und New York: Springer, 2010, S. 64–86.

⁷ Stuart Bennett. *A History of Control Engineering 1930-1955*. Hitchin: Peter Peregrinus Ltd., 1993, S. 97.

⁸ Ebd., S. 97-98.

⁹ Gerard O'Brien und Jon Opie. »The role of representation in computation«. In: *Cognitive Processing* 10.1 (2008), S. 53–62, S. 57.

¹⁰ Charles West Churchman. *Operations research: eine Einführung in die Unternehmensforschung*. München: Oldenbourg Verlag, 1971, S. 151-152.

¹¹ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 97.

son¹² berechnen soll. Dafür müssen Faltungsintegrale berechnet werden, deren allgemeine Form

$$\phi(x) = f_3(x) \int_a^x f_1(x)f_2(x)dx$$

ist.¹³ Zu ihrer Lösung muss also das Integral des Produktes zweier Funktionen bestimmt werden.

Der *Product Integrator* erreicht das elektromechanisch: Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe basieren auf elektrischen Strom- und Spannungsschwankungen sowie mechanischer Bewegung: Dazu wird ein Tisch durch einen Motor horizontal bewegt. Auf ihm befinden sich die Graphen der Funktionen $f_1(x)$ und $f_2(x)$, die miteinander verrechnet werden sollen. Während diese Kurven durch die horizontale Bewegung des Tisches in x-Richtung abgefahren werden, müssen zwei Bediener an jeweils einem Schieberegler die dazugehörige y-Position verfolgen (Abbildung 7). Diese Regler sind Potentiometer und Teil eines Stromkreises, ihre Bewegung verändert daher die Ströme in diesem Stromkreis. Mit einem Wattstundenmeter lässt sich nun die daraus resultierende elektrische Arbeit messen – und die entspricht in einem Stromkreis dem Integral des Produktes von Spannung und Strom als Funktionen der Zeit:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} U(t)I(t)dt$$

Ein Wattstundenmeter *berechnet* also das Integral des Produktes zweier Funktionen indem er die elektrische Arbeit einer Schaltung *misst*. Die Funktion, die das Wattstundenmeter so misst, hat dabei genau die für die Berechnung der Netzwerk-Gleichungen nötige Form.¹⁴ Eine geeignete Schaltung muss lediglich die Änderung der Widerstände der Potentiometer auf Spannung U und Strom I abbilden. Rechnen und Messen fallen im *Product Integrator* zusammen.

Mit dem Bau solcher Rechenmaschinen verschiebt sich nicht nur der Fokus der Arbeit des *Electrical Engineering Department* weg vom Bau von Stromnetzen *en miniature* und hin zur Berechnung ihrer Eigenschaften. Auch die Bedeutung des Adjektivs „analog“ verschiebt sich allmählich: Bezeichnet analog zunächst eigenschaftsgleiche Modelle, betrifft die heute übliche dichotomische Gegenüberstellung von „analog“ und „digital“ bekanntlich nicht das Verhältnis von Modell und Modelliertem, sondern ausschließlich die Art der Berechnung. Sie fragt danach, ob eine Maschine mit endlich vielen diskreten Zuständen oder mit kontinuierlichen Werten rechnet. Sie wird damit zu-

¹² Carson arbeitet zu dieser Zeit bei AT&T in den *Bell Laboratories*, die hier noch eine wichtige Rolle spielen werden.

¹³ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 98-99.

¹⁴ Vergleiche zum *Product Integrator* ebd., S. 98-103 und David A. Mindell. *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2004, S. 154-156.

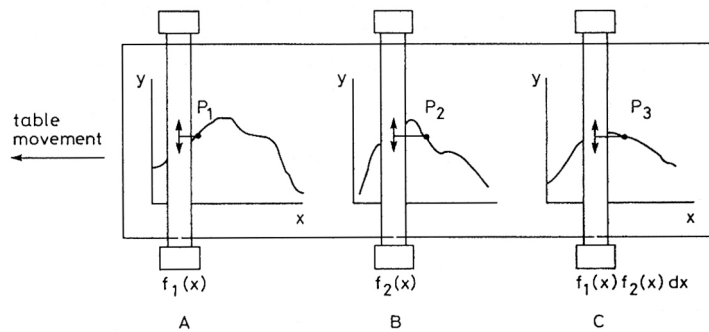


Abbildung 7: Der *Product Integrator* in schematischer Darstellung (aus Stuart Bennett. *A History of Control Engineering 1930-1955*. Hitchin: Peter Peregrinus Ltd., 1993, S. 100).

nächst als Dichotomie der Exaktheit des Rechnens mit digitalen Zahlen endlicher Auflösung auf der einen Seite und dem potentiell unendlich aufgelösten, aber über einen Messvorgang in seiner Exaktheit beschränkten, analogen Rechnen auf der anderen interessant. Diese Bedeutung von „analog“ entsteht aber erstens erst nachdem messende Rechenmaschinen wie der *Product Integrator* gebaut werden. Zweitens setzt sie die Existenz und Verbreitung von Maschinen voraus, die mit diskreten Zuständen rechnen und die damit die Gegenseite in der Dichotomie „analog/digital“ bilden. Erst im Kontext des Gebrauchs beider Typen von *computing equipment* entsteht die Dichotomie: „Computing equipment can be divided into two main classes“, schreibt Douglas Hartree 1946 in *Nature* und erklärt diese zu diesem Zeitpunkt neue Unterscheidung: „I have found it convenient to distinguish the two classes by the terms »instruments« and »machines« respectively; the American usage is »analogue« and »digital« machines.“¹⁵ Bis sich diese Unterscheidung endgültig als dominanter Bedeutungsrahmen von „analog“ und „digital“ durchsetzt, vergehen noch einige Jahre. Heute strukturiert sie die Diskurse um Computer und Medien aber grundlegend – wobei „digital“ mit der Zeit zunehmend mit „binär“ gleichgesetzt wird.¹⁶

Für die Ingenieure des *Electrical Engineering Department* ist der Schritt von eigenschaftsgleichen Analogmodellen zu so verstandenen Analogrechnern wahrscheinlich kein großer: Im *Product Integrator* wird Messen zwar Rechnen, jedoch sind die berechneten Netzwerkgleichungen genau so Gegenstand der Elektrotechnik wie Arbeit, Strom und Spannung mit deren Hilfe sie berechnet werden. Auch steht zwischen Modellen und Rechnern historisch der Zwischenschritt flexibler Analogmodelle wie der *Network Analyzer*,

¹⁵ Douglas R. Hartree. »The Eniac, an Electronic Computing Machine«. In: *Nature* 158 (1946), S. 500–506, S. 500.

¹⁶ Vergleiche zur Einführung Jens Schröter und Alexander Böhnke, Hrsg. *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*. Bielefeld: transcript, 2004, S. 7–30.

der nicht länger ein spezielles Stromnetz nachbildet, sondern zur Simulation verschiedener tatsächlicher Netze genutzt werden kann.¹⁷ Analogrechner wie der *Product Integrator* werden daher noch lange, genau wie die Miniaturnetze, einfach als Schaltungen oder *networks* bezeichnet. Trotzdem kann der *Product Integrator* im Rückblick als paradigmatisches Beispiel für ein analoges *instrument* gesehen werden.

Auch wenn der *Product Integrator* aber die Flexibilität von Modellen wie dem *Network Analyzer* erweitert, ist er wie die meisten Analogrechner dennoch eine Maschine mit einem speziellen Zweck: Er berechnet zwar das Integral des Produktes zweier Funktionen, lässt sich aber nicht auf Probleme anwenden, die beispielsweise von anderen Formen von Differentialgleichungen beschrieben werden. Beim „Herumspielen“ mit einem elektrischen Schwingkreis, dessen Dynamik nicht mehr dieser Form entspricht, kommt Hazen aber zu dem Schluss, dass er sie berechnen könnte, wenn der *Product Integrator* über eine zweite Integrationsstufe verfügen würde. Bush zeigt daraufhin, dass die Menge der Probleme, die ein so erweiterter *Product Integrator* lösen könnte, sogar noch größer ist.¹⁸

Hazen macht sich an die Konstruktion eines solchen mehrstufigen Integrators. Für die zweite Integrationsstufe setzt er aber nicht mehr auf die Messung elektrischer Arbeit, sondern auf ein älteres Verfahren:¹⁹ Ein Rad, das auf einer mit konstanter Geschwindigkeit rotierenden Scheibe läuft, wird sich schneller drehen, je weiter es vom Mittelpunkt dieser Scheibe entfernt ist. Verändert sich die Position des Rades mit den Funktionswerten einer Funktion, so entspricht seine Rotation ihrem Integral. Als Planimeter wurden diese „disc-and-wheel“-Integratoren schon im frühen 19ten Jahrhundert verwendet, um durch Abfahren einer Linie auf einer Karte die darin eingeschlossene Fläche zu messen. Berühmt wurde das Prinzip schließlich nach 1876 durch die Konstruktion des *Tide Predictor* durch Lord Kelvin, der die Oszillationen der scheinbaren Bewegung von Sonne und Mond zur Vorhersage der Fluthöhe integriert.

Obwohl Kelvin den *Tide Predictor* als spezielles analoges *instrument* zur Vorhersage der Fluthöhe konstruiert hatte, erkannte er bereits, dass solche Integratoren zur Lösung beliebiger Differentialgleichungen eingesetzt werden können. Denn der *Tide Predictor* könnte Differentialgleichungen iterativ approximieren, wenn die jeweils letzte Approximation Grundlage der nächsten wäre. Würde man eine Reihe solcher Mechanismen hintereinander schalten, würde das Ergebnis von Station zu Station verbessert, um schließlich beliebig nahe an die

17 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 151-153.

18 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 100.

19 Zum Folgenden vergleiche Allan G. Bromley. »Analog Computing Devices«. In: *Computing Before Computers*. Hrsg. von William Aspray. Ames: Iowa State University Press, 1990, S. 156-199.

tatsächliche Lösung der Differentialgleichung heranzureichen: „Thus, given any initial function and having it pass through a series of these mechanisms, a series of functions would be obtained that converge to a solution of the differential equation.“²⁰ Kelvin erkannte aber auch, dass sich dieses Prinzip radikal verkürzen ließe: Statt eine Kette linear aufeinander aufbauender Mechanismen zu verwenden, müsste dazu die Ausgabe des Mechanismus zu seiner Eingabe werden. Eine Rückkopplung des Rechenprozesses mit sich selbst – das Schließen einer Feedback-Schleife – würde hier die Konvergenz der Approximation durch einen einzigen Mechanismus gewährleisten: „Kelvin here had discovered the basic feedback principle by which integrator mechanisms can be applied to the solution of differential equations. Although he generalized the principle to the case of any differential equation of any order, his mechanism could not be realized at the time.“²¹ Technisch ist das, was Kelvin in der Theorie erkannte, zu seiner Zeit nicht umsetzbar.

Nach der Erweiterung des *Product Integrator* um einen „disc-and-wheel“-Integrator beschließt Bush, einen Rechner zu bauen, der diese Idee schließlich realisieren wird: Der berühmte *Differential Analyzer* dient der Lösung unterschiedlichster Differentialgleichungen und verwendet ausschließlich mechanische „disc-and-wheel“-Integratoren.²² Mit seinem Bau verlässt das *Electrical Engineering Department* endgültig die angewandte und an Problemen der Industrie orientierte Forschung zu Stromnetzen. Er berechnet und zeichnet nicht länger nur Netzwerkgleichungen, sondern wird auf eine Vielzahl von Problemen von Ingenieurswissenschaften bis Astrophysik angewandt. Die technische Grundlage aber, auf der das Rückkoppeln des Rechenprozesses erfolgen wird, wird auf dem selben Prinzip basieren: Feedback.

2.2.2 Signalverfolgung

Das Rechnen mit (elektro-)mechanischen *instruments* ist eine Performance. Es besteht darin, „to kinetically act out the mathematical equation“²³. Die Bewegungen der Bediener und des Tisches werden im *Product Integrator* auf die Bewegung des Wattstundenmeters und später des „disc-and-wheel“-Integrators übertragen. Ähnliches gilt für den *Differential Analyzer*: „Der Differential Analyzer rechnet [...] nicht nur, sondern er ist auch ein mechanisches Modell der Differentialrechnung“²⁴ – ein Modell, das nicht nur rechnen kann, sondern auch automatisch über Sichtbarkeit verfügt, weil hier das Verhältnis von

²⁰ Ebd., S. 176.

²¹ Ebd.

²² Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 103.

²³ Larry Owen zitiert nach Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 45.

²⁴ Ebd.

Berechnung und Darstellung, wie Pias feststellt, indexikalisch²⁵ ist und es gilt, dass „die Handbewegungen von Operatoren- und Plotterarmen tatsächlich jene Daten *sind*, die auch verarbeitet werden“²⁶.

Trotzdem bedarf die Berechnung einer abschließenden Darstellung. Zunächst nämlich schlägt sie sich im Zuge des „acting out“ nur in der Bewegung mechanischer Teile nieder: Wenn am Ende des Rechnens mit dem *Product Integrator* die Rotation eines Wattstundenmeters steht, entspricht sie zwar dem gesuchten Integral, muss aber noch in die lesbare Darstellung eines Funktionsgraphen überführt werden. Ein Stift muss dazu in Abhängigkeit von dieser Rotationsgeschwindigkeit entlang der y-Achse des Funktionsgraphen auf und ab bewegt werden. Das Problem, den Zeichenstift an die Rotation zu koppeln, erweist sich als das selbe Problem, an dem Kelvin gescheitert war: Das Schließen eines Feedback-Loops zwischen den Integrationsstufen hätte verlangt, dass sich das Ergebnis eines „disc-and-wheel“-Integrators in den Rechenprozess zurückschleifen lässt und dass sich also seine Integratoren so hintereinander schalten lassen, dass der zweite die Drehung des ersten „verarbeitet“. Ein solcher Mechanismus war für Kelvin genau deshalb nicht umsetzbar, weil das Drehmoment des Rades eines Integrators nicht ausreichen würde, um die Scheibe eines anderen anzutreiben.²⁷

Bei Kelvin, wie auch später im *Product Integrator* und *Differential Analyzer*, trifft das analoge Rechnen so auf das Problem, das es erst ermöglicht hatte: Seine Voraussetzung ist, dass die Bewegungen der Teile von Maschinen „tatsächlich jene Daten *sind*, die auch verarbeitet werden“²⁸. Daraus folgt aber auch, dass jeder Reibungsverlust einen Mess- und damit Rechenfehler bedeutet. Der Stift im *Product Integrator* kann die Energie zum Zeichnen daher nicht direkt aus der Rotation des Integrators beziehen. Genauso wenig kann das Drehmoment der Räder der Integratoren im *Differential Analyzer* zum Antrieb der Scheiben des nächsten Integrators genutzt werden. Zwischen die rechnenden und darstellenden Elemente von Analogrechnern müssen daher Mechanismen geschaltet werden, die die Bewegung dieser Elemente aufgreifen, verstärken und weiterreichen können. Analog Rechnen setzt so voraus, die sich verändernden Positionen mechanischer Bauteile verfolgen zu können, ohne sie zu beeinflussen. Es wird zum Problem der Verfolgung eines veränderlichen Signals: „The problem is to devise an electro-mechanical positioning system which will accurately follow a rapidly changing signal.“²⁹

Bush und Hazen fassen 1927 ihre Arbeit am *Product Integrator* und dessen Erweiterung zusammen und betonen dabei, wie wichtig die automatische Verfolgung von Bewegung für dessen Funktionieren ist:

25 Eine ausführliche Diskussion hierzu folgt im Abschnitt 4.5.2.

26 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 45, Hervorhebung im Original.

27 Bromley, »Analog Computing Devices«, S. 176-177.

28 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 45, Hervorhebung im Original.

29 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 101.

It is essential that these integrator shafts – in the first stage the watt-hour meter; in the second the wheel shaft – be free from all friction and load torque, and hence they cannot directly furnish energy to drive the recording shafts. A servo-motor follower mechanism is therefore used to drive each recording shaft, and this not only reduces the necessary energy output of the integrator shafts to a negligible value, but, as mentioned above, practically eliminates bearing friction on these shafts at the same time. This mechanism is really the key to the success of the machine from the practical point of view.³⁰

„From the practical point of view“ wird die Entwicklung elektromechanischer Analogrechner am MIT so vor allem zur Entwicklung von Mechanismen zur Signalverfolgung. Diese Mechanismen werden als Servomechanismen bezeichnet.

2.2.3 Closing the Loop

Während dieses Problem hier im Kontext expandierender Stromnetze auftaucht, ist es, wie schon das Beispiel Kelvin zeigt, nicht auf dieses Gebiet beschränkt. Es beschränkt sich aber auch nicht auf das Gebiet der Konstruktion elektromechanischer Apparate. Zur gleichen Zeit in der die Analogrechner des MIT entwickelt werden, wird es zu einem zentralen Problem in der Nachrichtentechnik. So arbeiten etwa in den *Bell Laboratories* der amerikanischen Telefongesellschaft AT&T Ingenieure wie Harry Nyquist, Hendrik Bode und Harold Stephen Black daran, Telefongespräche über immer weitere Strecken zu übertragen.³¹ Um transkontinentale Telefonverbindungen anbieten zu können, benötigt AT&T leistungsfähige Verstärker. Zunächst werden daher Röhrenverstärker als *repeater amplifier* in die Leitungen geschaltet. Diese haben aber einen entscheidenden Nachteil: Die übertragene Sprache wird auf Grund der nichtlinearen Verstärkungseigenschaften der Vakuumröhren verzerrt.³² Während man lange versucht, das Problem dadurch in den Griff zu bekommen, dass man Vakuumröhren entwickelt, deren Verstärkung möglichst linear ist³³, entwickelt Black bereits in den frühen 1920er Jahren eine völlig andere

³⁰ Zitiert nach ebd., S. 102.

³¹ Vergleiche hierzu ebd., S. 70-73 und Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 105-137.

³² Bei Audiosignalen bedeutet eine nichtlineare Verstärkung, dass das Ausgangssignal nicht nur einfach eine größere Amplitude (und veränderte Phase) als das Eingangssignal besitzt. Das Signal wird verzerrt. In der Rockmusik wird sich die nichtlineare Verstärkung von Röhrenverstärkern schließlich als Gestaltungselement und Bedeutungsträger selbstständig machen. Die Nachrichtentechnik ist dagegen an einer sauberen, linearen Verstärkung interessiert.

³³ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 116.

Lösung für dieses Problem: Er baut einen Verstärker, der seinen eigenen Fehler benutzt, um diesen in den Griff zu bekommen. Dazu wird zunächst das Ausgangssignal eines Röhrenverstärkers auf die Amplitude des Eingangssignals gebracht. Durch Subtraktion beider Signale kann jetzt die reine Verzerrung des Verstärkers isoliert werden. Ein zweiter Verstärker verstärkt nun die so isolierte Verzerrung, damit diese vom Ausgangssignal wieder abgezogen werden kann. Ergebnis ist eine saubere Verstärkung ohne die unerwünschten nichtlinearen Komponenten.³⁴

Diese Schaltung verarbeitet nicht nur das Eingangssignal, sondern auch ihre eigene Ausgabe, die als zusätzliche Eingabe rückgekoppelt wird – ein Vorgang, der schon den zur Kelvins Zeit nur theoretisch möglichen rückgekoppelten *Tide Predictor* kennzeichnete. Da mit diesem *feeding back* eine Feedback-Schleife (oder ein *feedback loop*) geschlossen wird, werden solche Schaltungen in der Regelungstechnik bis heute unter dem Begriff der *closed loop control* geführt. Schaltungen wie der *repeater amplifier*, die als reine *feed-forward*-Schaltungen blind gegenüber den Ergebnissen der eigenen Arbeit sind, arbeiten dagegen im *open loop*. Darüber hinaus setzt Black Feedback hier zur Dämpfung ein: Die isolierte Verzerrung wird vom Ausgangssignal abgezogen, das Feedback ist negativ. Damit wird einerseits die Gesamtleistung des Verstärkers (der *gain*) geringer als die seiner *feed-forward*-Komponenten. Andererseits gleicht das System Abweichungen vom gewünschten Wert automatisch aus.

Zwar illustriert Blacks frühe Lösung anschaulich die Möglichkeiten des Einsatzes von Feedback in der Nachrichtentechnik. Das Verstärkerproblem ist damit aber noch nicht gelöst: In Blacks Schaltung muss der *gain* zweier Verstärker sehr genau und für einen langen Zeitraum aufeinander abgestimmt werden. Ändert sich Batteriespannung oder Heizstrom einer der verwendeten Röhren, arbeitet die Schaltung nicht mehr zuverlässig. Praxistauglich ist diese Lösung daher nicht.³⁵

Erst Jahre später löst Black das Problem endgültig: Im *electronic negative feedback amplifier* fügt er 1927 das verstärkte und verrauschte Ausgangssignal eines Röhrenverstärkers in umgekehrter Phase seinem Eingangssignal hinzu. Weil hier nur ein Verstärker Verwendung findet, hängt das Ausgangssignal jetzt ausschließlich von der verwendeten Feedbackschaltung ab und alle Schwankungen in der Verstärkerleistung werden automatisch ausgeglichen – das System ist im technischen Sinn selbstkorrigierend.³⁶ Es bildet den Ausgangspunkt der weiteren Forschung bei AT&T und Harry Nyquist entwickelt mit dem *Nyquist stability criterion* und dem *Nyquist diagram* grundlegende Methoden zum Umgang mit Feedbacksystemen, als er zusammen

³⁴ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 73.

³⁵ Ebd., S. 73-74.

³⁶ Ebd., S. 74-75.

mit Black daran arbeitet, den *electronic negative feedback amplifier* gegen unerwünschte Oszillationen zu stabilisieren.³⁷

Obwohl die Forschung in den *Bell Laboratories* im wesentlichen parallel zu der am *Electrical Engineering Department* verläuft, findet durch die verschlossenen Türen der Privatfirma AT&T kein direkter Austausch statt.³⁸ Trotzdem sind nicht nur die untersuchten Probleme, sondern auch die dafür entwickelten Lösungen im wesentlichen identisch: „The problem is, of course, directly analogous to the amplifier problem solved by Black. In Black’s case the rapidly varying signal to be followed was derived from speech or other sounds, in Hazen’s case from the position of mechanical components.“³⁹ Black führt das fehlerhafte Ausgangssignal eines *feed-forward*-Verstärkers zu seinem Eingang zurück. Analog dazu entstehen am MIT Motoren und Mechanismen, die in der Lage sind mechanischen Bewegungen zu folgen indem sie ebenfalls ihre eigenen Fehler berücksichtigen.

Meist handelt es sich dabei um Motoren, die beschleunigen, wenn sie dem verfolgten Signal hinterherhinken und die gebremst werden, sobald sie dem Signal voraus sind. Im einfachsten Fall geschieht dies durch Schleifkontakte, die immer dann, wenn die Rotation eines Motors zu stark von der verfolgten abweicht, dessen Drehrichtung umkehren⁴⁰. Servomechanismen sind also Verbundsysteme aus Sensoren und Aktoren. Hazen definiert „Servomechanismus“ in der Folge als „a power-amplifying device in which the amplifier element driving the output is actuated by the difference between the input to the servo and its output“⁴¹. Eine Definition, die sich schließlich durchsetzen wird. Peter Galison wird dementsprechend über die 1940er Jahre schreiben: „Für die meisten Wissenschaftler der Zeit [...] war ein Servomechanismus durch die Einbeziehung von Feedback definiert.“⁴²

Und während der *Differential Analyzer* zwar keine Servomechanismen im strengen Sinne benutzt, arbeitet der hier verwendete *Torque Amplifier*, der das Drehmoment zwischen den Integrationsstufen des Rechners aufgreift und verstärkt, doch mit inhärentem Feedback und unterscheidet sich nicht grundsätzlich von anderen feedbackbasierten Systemen.⁴³ Scheiterte bei Kelvin die Rückkopplung eines Rechenpro-

37 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 127.

38 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 108.

39 Ebd., S. 101.

40 Vergleiche zum Beispiel ebd., S. 101-103.

41 Zitiert nach ebd., S. 108.

42 Peter Galison. »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«. In: *Räume des Wissens: Repräsentation, Codierung, Spur*. Hrsg. von Hans-Jörg Rheinberger, Michael Hagner und Bettina Wahrig-Schmidt. Berlin: Akademie Verlag, 1997, S. 289, Hervorhebung im Original.

43 Robert Hugh Macmillan. *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*. Cambridge: Cambridge University Press, 1951, S. 7. Vergleiche hierzu auch Bromley, »Analog Computing Devices«, S. 179-181.

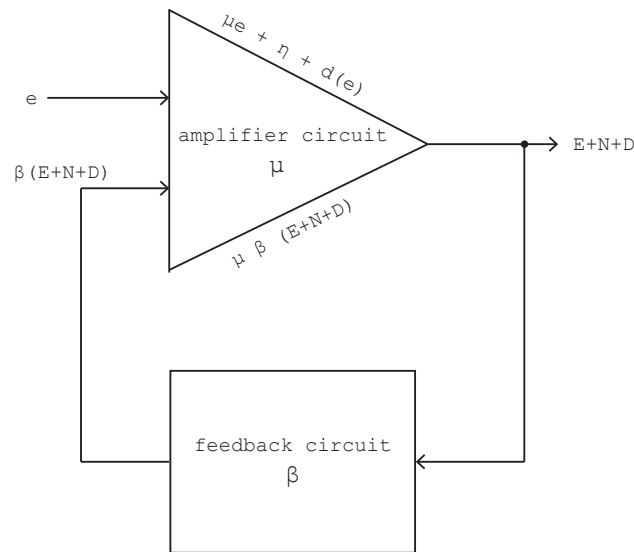


Abbildung 8: Der *electronic negative feedback amplifier* in wegweisender Darstellung durch Black (nach Stuart Bennett. *A History of Control Engineering 1930-1955*. Hitchin: Peter Peregrinus Ltd., 1993, S. 79).

zesses noch an „friction and load torque“, wird Rückkopplung hier zur Lösung eben dieses Problems.

2.2.4 Feedback Cultures

1934 veröffentlichen sowohl Black als auch Hazen Texte, in denen sie ihre Entwicklungen theoretisch aufarbeiten und mit denen sie den Einsatz von Feedback standardisieren⁴⁴. Die Diagramme (Abbildung 8) und Formalismen die sie verwenden etablieren eine einheitliche Terminologie der Arbeit mit Feedback und der Ingenieur Fred Waldhauer wird sich später erinnern: „Black’s diagram and equations were central because they established a *language* with which to talk about feedback systems.“⁴⁵

Zwar ist der Einsatz von Feedback zur Regelung seit der Antike bekannt, während das Wissen darüber im Mittelalter insbesondere in der islamischen Welt gepflegt und spätestens gegen Ende der Re-

⁴⁴ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 97.

⁴⁵ Zitiert nach ebd., S. 22, Hervorhebung im Original. Waldhauer arbeitet selbst in den *Bell Laboratories* und wird vor allem deshalb Bekanntheit erlangen, weil er zusammen mit John Cage und Billy Klüver zu den Gründern der *Experiments in Art and Technology* gehört. Vergleiche auch Sylvie Lacerte. »9 Evenings and Experiments in Art and Technology: A Gap to Fill in Art History’s Recent Chronicles«. In: *Artists as Inventors - Inventors as Artists*. Hrsg. von Dieter Daniels und Barbara U. Schmidt. Ostfildern: Hatje Cantz, 2008, S. 159–175

naissance auch im Westen wiederentdeckt wird.⁴⁶ James Watts' Verwendung von Fliehkraftreglern, die mittels negativem Feedback die Drehzahl von Dampfmaschinen begrenzen, ist hier nur das bekannteste Beispiel.⁴⁷ Bis zu den Veröffentlichungen von Black, Hazen und anderen fehlt aber die *language* als ein Gerüst aus abstrakten Begriffen und formalen Methoden, das ein einheitliches Sprechen über und Arbeiten mit Feedback erst erlaubt. Es gibt schlicht und einfach „kein frühmodernes Äquivalent zu dem abstrakten Begriff der *Rückkopplungssysteme*“⁴⁸ und die Anwendung von Feedback erfolgt auch in technischen Kontexten lange rein punktuell und ohne einen verbindenden theoretischen Rahmen.⁴⁹ Einzelne Institutionen und Disziplinen konstituieren eigene „feedback cultures“⁵⁰, zwischen denen kein Austausch stattfindet. Selbst allgemeine Einführungen in die mechanische Regelungstechnik, wie etwa das 1919 erschienene „Governors and the Governing of Prime Movers“ von Willibald Trinks, verbleiben im Speziellen: „Trinks raised modern issues in control, but he always discussed particular mechanisms, not general systems“⁵¹.

Die Nachrichtentechnik stellt eine solche *feedback culture* dar: Hier ist der Begriff des Feedback auch schon vor der Arbeit Blacks nicht unbekannt, er wird aber meist noch ausschließlich für positives Feedback und damit vor allem als Bezeichnung einer möglichen Fehlerquelle verwendet⁵². Black muss die Unterscheidung von positivem und negativem Feedback und die Bedeutung des letzteren erst deutlich machen: „In Black's time, however, even the specific-sounding term *negative feedback* had yet to acquire a stable definition.“⁵³

Und obwohl in der Regelungstechnik der Einsatz feedbackgesteuerter Motoren bereits zur Zeit der Konstruktion des *Product Integrator* üblich ist⁵⁴ und sich Hazen bei Veröffentlichung seiner „Theory of Servomechanisms“ auf dreißig vorangegangene Veröffentlichungen zum Einsatz von Feedback in Schifffahrt, Luftfahrt und Industrie stüt-

46 Vergleiche hierzu Stuart Bennett. »A brief history of automatic control«. In: *IEEE Control Systems* 16.3 (1996), S. 17–25, Frank Lewis. »Applied Optimal Control and Estimation; Digital Design and Implementation«. In: Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1992. Kap. A brief history of feedback control, sowie Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«.

47 Ein Mechanismus, dessen Vorläufer sich bereits in Wind- und Wassermühlen finden lassen. Bennett, »A brief history of automatic control«, S. 17. Vergleiche auch Volker Henn. »Materialien zur Vorgeschichte der Kybernetik«. In: *Studium generale. Zeitschrift für interdisziplinäre Studien* 22 (1969), S. 164–190, S. 167.

48 Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 318.

49 „There was a lack of theoretical understanding with no common language in which to discuss problems.“ Bennett, »A brief history of automatic control«, S. 18–19

50 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 138.

51 Ebd., S. 140.

52 Bennett, »A brief history of automatic control«, S. 17.

53 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 121, Hervorhebung im Original.

54 Bennett, *A History of Control Engineering 1930–1955*, S. 102.

zen kann, muss auch er diesen Arbeiten ihre Gemeinsamkeiten erst aufzeigen und den Unterschied zwischen *open* und *closed loops*, wie auch den Begriff des Servomechanismus als feedbackgesteuerten Mechanismus einführen.⁵⁵

Mit Feedback wird aber nicht nur eine neue Methode Probleme zu lösen standardisiert, es bringt auch neue Probleme mit sich. Setzt eine Schaltung oder ein mechanisches System die eigenen Fehler zu deren Korrektur ein, kann es grundsätzlich instabil werden. Dies geschieht zum Beispiel dann, wenn ein Motor beim Folgen einer Bewegung über sein Ziel hinausschießt und damit eine Korrektur nötig macht. Unter ungünstigen Umständen macht so jede Korrektur eine neue entgegengesetzte Korrektur nötig und das Gesamtsystem oszilliert unkontrollierbar. Jede *feedback culture* hat mit diesem Stabilitätsproblem zu kämpfen, seine allgemeine Natur wird aber ebenfalls erst in der Folge der Arbeit von Black und Hazen erkannt. Zunächst firmiert es unter verschiedenen Namen, die sehr deutlich lokale Arbeitskontexte widerspiegeln: So sieht die Mechanik bei dieser oszillierenden Verfolgungsbewegung ein *hunting*, die Nachrichtentechnik hört ein *singing*.⁵⁶

2.3 KLASSISCHE REGELUNGSTECHNIK

2.3.1 Ein Paradigmenwechsel in der Regelungs- und Nachrichtentechnik

Nach Thomas S. Kuhn lässt sich die Phase der Geschichte einer wissenschaftlichen Disziplin, in der ihre Grundlagen, Methoden und Fragestellungen stabil sind, als „normale Wissenschaft“ bezeichnen. Die Forschungspraxis in einer solchen Phase ist ein „Lösen von Rätseln“⁵⁷. Die stabilen Grundlagen einer normalen Wissenschaft bezeichnet Kuhn als ihr „Paradigma“. In seinem berühmte Buch „Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ beschreibt er den Übergang einer Phase normaler Wissenschaft zur nächsten als „Paradigmenwechsel“⁵⁸.

Bis in die 1920er Jahre sind Regelungs- und Nachrichtentechnik normale (Ingenieurs-)Wissenschaften, die von der Suche nach *feed-forward*-Lösungen bestimmt sind. Der Umgang der Nachrichtentechniker mit den Problemen, die durch die nichtlineare Verstärkung durch Vakuumröhren verursacht werden, ist dafür ein gutes Beispiel: Man versucht, Röhren mit linearen Verstärkereigenschaften zu konstruieren, um die bewährten *feed-forward*-Schaltungen weiter benutzen zu können. Feedback ist zwar bekannt, wird aber nicht als Methode, son-

⁵⁵ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 108.

⁵⁶ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 125.

⁵⁷ Thomas S. Kuhn. *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1967 [1962], S. 49.

⁵⁸ Ebd.

dern als mögliche Fehlerquelle wahrgenommen. Es spielt nach den Regeln der „normalen“ Nachrichtentechnik für das Problem nichtlinearer Verstärkung keine Rolle.

Mit dem Bau des *electronic negative feedback amplifier* verletzt Black diese Regeln und eröffnet ein neues Arbeitsfeld, das mit dem *singing* seine eigenen Probleme mit sich bringt. Hazen muss nicht einmal völlig neue Wege gehen – seine Leistung besteht vor allem darin, die vorhandenen Beispiele aus einzelnen *feedback cultures* als gemeinsames Feld zu beschreiben. Die entscheidende Leistung beider besteht damit nicht in ihren spezifischen technischen Lösungen. Wichtiger ist, dass sie den abstrakten Begriff der Rückkopplungssysteme erst etablieren. Ihre Veröffentlichungen standardisieren den Umgang mit solchen Systemen und sorgen dafür, dass Feedback in der Folge zur zentralen Methode sowohl der servomechanischen Regelungstechnik als auch der Nachrichtentechnik wird. Feedback verspricht dabei nicht nur die Problemlösungsfähigkeit beider Felder zu erhalten, sondern auch allgemein anerkannte und bisher ungelöste Probleme dieser Felder lösen zu können. Es erfüllt damit die „notwendigen Bedingungen“, einen Paradigmenwechsel einzuleiten.⁵⁹ Nach der allgemeinen Einführung von Feedback ist das „Lösen von Rätseln“ von der Anwendung von Feedback auf zahllose konkrete technische Probleme und vom allgemeinen Umgang mit dem Stabilitätsproblem gekennzeichnet. Die Rolle des letzteren wird dabei so zentral, dass die Möglichkeit in diesem Sinne instabil zu werden, zur Definition feedbackgesteuerter Servomechanismen selbst herangezogen werden kann: „On this basis we should define a servo system as a control system of a type which can become unstable.“⁶⁰

In einem Postskriptum zur „Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ hat Kuhn darauf hingewiesen, dass er den Paradigmenbegriff in zwei Bedeutungen gebraucht:

Einerseits steht er für die ganze Konstellation von Meinungen, Werten, Methoden usw., die von den Mitgliedern einer gegebenen Gemeinschaft geteilt werden. Andererseits bezeichnet er ein Element in dieser Konstellation, die konkreten Problemlösungen, die, als Vorbilder oder Beispiele gebraucht, explizite Regeln als Basis für die Lösung der übrigen Probleme der „normalen Wissenschaft“ ersetzen können.⁶¹

Gerade die zweite der beiden Bedeutungen erscheint Kuhn wichtig, verschiebt sie doch den Blick der Wissenschaftsforschung weg von

59 Hans-Jörg Rheinberger. *Historische Epistemologie zur Einführung*. Hamburg: Junius, 2007, S. 87. Vergleiche auch Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, S. 180-181

60 Macmillan, *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*, S. 7.

61 Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, S. 186.

den Regeln und Theorien wissenschaftlicher Disziplinen hin zu ihren Arbeitspraxen. Dem niedergeschriebenen Wissen wissenschaftlicher Theorie stellt Kuhn so (in Anlehnung an Michael Polanyi) das „stillschweigende Wissen“ der wissenschaftlichen Betätigung an die Seite.⁶²

Dieser Blick wurde in jüngerer Zeit von Vertretern der Wissenschaftstheorie und der Science and Technology Studies radikalisiert und ergänzt.⁶³ So rückt Hans-Jörg Rheinberger die Rolle der Laborpraxis weiter in den Vordergrund und untersucht dabei nicht nur die Praxen, sondern auch die damit verbundenen Laborapparate. Wissenschaft beruht nach dieser Sicht, wie bereits im Zusammenhang mit der frühen Experimentalpsychologie angedeutet, vor allem auf „Experimentalsystemen“⁶⁴, die die „kleinsten vollständigen Arbeitseinheiten“⁶⁵ aller Forschung bilden. In Experimentalsystemen greifen, so Rheinberger, „zwei verschiedene, jedoch voneinander nicht trennbare Strukturen“ ineinander⁶⁶: Forschungsgegenstände, die Rheinberger „epistemische Dinge“ nennt, sowie die Bedingungen der Forschung, die er als „technische Dinge“ bezeichnet. Dabei determinieren die technischen Dinge einerseits „den Horizont und die Grenzen des Experimentalsystems“⁶⁷. Selbst sind sie aber „Sedimentationsprodukte lokaler oder disziplinärer Arbeitstraditionen“⁶⁸ und oft werden epistemische Dinge zu Bausteinen der technischen Bedingungen weiterer Forschung. Dies wird besonders deutlich, wenn Forschungsergebnisse als die epistemischen Dinge, auf die ein Experimentalsystem ausgerichtet ist, in der darauf folgenden Forschung methodisch eingesetzt werden. Nichts anderes geschieht zum Beispiel, wenn die scheinbare Bewegung nach ihrer „Entdeckung“ durch Forscher wie Exner von Wertheimer methodisch zur Untersuchung des Sehens im Allgemeinen verwendet wird. Nach Rheinberger spiegelt die zeitgenössische wissenschaftliche Publikationspraxis die Unterscheidung von epistemischen und technischen Dingen ganz konkret wieder, indem sie meist zwischen „»Material und Methoden« (technische Objekte), »Resultate« (Hybride zwischen technischen und epistemischen Dingen) und »Diskussion« (meist bezogen auf ein epistemisches Objekt)“ unterscheidet.⁶⁹ Mit dem Sedimentieren epistemischer zu technischen Dingen wandern die Resultate von Forschung gewissermaßen in ihr Methodenrepertoire und werden zu Bedingung weiterer Forschung, denn „ausreichend stabilisierte epistemische Dinge [...] können als

62 Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, S. 203.

63 Zum Folgenden vergleiche vor allem Hans-Jörg Rheinberger. *Experimentalsysteme und epistemische Dinge: Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2006.

64 Ebd., S. 23-26.

65 Ebd., S. 25.

66 Ebd., S. 27.

67 Ebd., S. 29.

68 Ebd.

69 Ebd., S. 31.

technische Bausteine in eine bestehende Experimentalanordnung eingefügt werden“⁷⁰. Damit funktionieren diese stabilisierten Dinge aber nicht einfach nur. „Mindestens ebenso wichtig sind jedoch die Auswirkungen dieses Vorgangs auf die neue Generation epistemischer Dinge, die gerade im Entstehen begriffen sind, die Eröffnung neuer Möglichkeiten der Untersuchung.“⁷¹

Die Arbeit von Hazen und Black liefert nun konkrete Problemlösungen für die Probleme von Regelungs- und Nachrichtentechnik. Sie geht dabei aber über die Regeln ihrer jeweiligen „normalen“ Wissenschaft hinaus und bringt mit Feedback ein neues epistemisches Ding hervor – neu, weil erstmals Feedback als abstrakter Begriff erscheint, der unabhängig von lokalen *feedback cultures*, Disziplinen oder gar „particular mechanisms“ ist. Steht Feedback so zunächst am Ende der Forschung zu Analogrechnern und Audioverstärkern und bildet Signalverfolgung das Ziel, auf das die Experimentalsysteme von *Electrical Engineering Department* und *Bell Laboratories* gerichtet sind, so folgt es nun der Tendenz ein „technisches Ding“ zu werden. Die Ergebnisse von Black und Hazen sedimentieren zu Methoden einer neuen Regelungstechnik, die nicht mehr zwischen der Regelungstechnik der *servomechanisms* und der Nachrichtentechnik unterscheidet. Mit Feedback dient die gleiche Methode zur Beschreibung und Konstruktion von Telefonverstärkern, wie der von mechanischen und elektrischen Analogrechnern. Obwohl Black seinen Verstärker nie für konkrete mechanische Anwendungen vorschlägt, schreibt er in der Patentschrift dazu doch: „The invention is applicable to any kind of wave transmission such as electrical, mechanical, or acoustical [...] the terms used have been generic systems.“⁷²

So treten an die Stelle der „particular mechanisms“ allgemeine Systeme. Im Zuge des Paradigmenwechsels werden die unterschiedlichen *feedback cultures* zu einer einzigen vereinigt⁷³ und *control engineering* und *communication engineering* werden eins.

Dieser Paradigmenwechsel wird in der Geschichtsschreibung der Regelungstechnik gewöhnlich als Übergang zur „classical period“ des Feldes bezeichnet.⁷⁴ Der Ingenieur und Historiker Stuart Bennett datiert den Beginn der klassischen Regelungstechnik explizit in die Folge der Veröffentlichungen von Black und Hazen auf 1935 und ergänzt: „[Hazen’s] papers [...] provided the starting point for the next generation of control system specialists.“⁷⁵

Black und Hazen erfüllen vor diesem Hintergrund eine Funktion die ganz im Sinne Kuhns diesem Paradigmenwechsel Vorschub leis-

⁷⁰ Ebd., S. 29.

⁷¹ Ebd., S. 30.

⁷² Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 124.

⁷³ Ebd., S. 138.

⁷⁴ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 17.

⁷⁵ Bennett, »A brief history of automatic control«, S. 19.

tet: „The importance of Hazen’s work on relay type controllers lay not so much in the results obtained [...] but in the approach to the solution and in the encouragement it gave to others.“⁷⁶ Kuhn legt mit seinem Fokus auf das „stillschweigende Wissen“ viel Wert darauf, dass gerade das Einüben von Praktiken und Sichtweisen aus Beispielen eine zentrale Rolle im Entstehen von Paradigmen spielt. Weil Paradigmen von „konkreten Problemlösungen“ abhängen, kann Blacks beispielhafte Problemlösung zur Vorlage eines neuen Verständnisses werden: „This work provided a *practical device* – the negative feedback amplifier – and led to a *deeper understanding* of the benefits of negative feedback systems.“⁷⁷ Zur Verbreitung dieses Verständnisses muss die Sprache der *feedback culture* eingeübt und gelehrt werden. Vor allem Hazen liefert nicht nur konkrete Beispiele, sondern wird nach 1934 mehr und mehr zum Lehrer⁷⁸. Er übernimmt zunehmend Verantwortung für die Lehre am *Electrical Engineering Department*, entwirft einen Kurs zu *servomechanisms* und wird schließlich der Leiter der Abteilung.⁷⁹

Die hier verwendete Lesart des Paradigmenbegriffs könnte man mit Ludwik Fleck als „Denkstil“ bezeichnen.⁸⁰ In Flecks Argumentation finden sich bereits während der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts Ideen, die später bei Kuhn und dann bei Rheinberger wieder auftauchen.⁸¹ Auch bei ihm ist Wissenschaft grundsätzlich sozial und kulturhistorisch zu analysieren.⁸² Der Paradigmenwechsel in der Regelungstechnik brächte mit Fleck ein neues „Denkkollektiv“ hervor, das wir oben bereits als *feedback culture* kennengelernt haben. Eine Entwicklung, die im Zusammenhang mit der Entwicklung einer gemeinsamen Sprache und konkreten Geräten zu sehen ist: „Technische Termini“ und „das wissenschaftliche Gerät“ gehören nach Fleck zu den Mitteln eines Denkstils, „seinen Produkten den Charakter einer Sache zu verleihen“⁸³. Und „Meinungen, Anschauungen, Denkk Zusammenhänge und Vorstellungen“ eines Denkkollektivs entstehen in diesem Feld „auf eine Art, die der Bildung von Wörtern, Redewendungen und Sprachgebräuchen sehr ähnlich ist.“⁸⁴ Schließlich spielt auch hier „Die tägliche Erfahrung des Forschers und Lehrers“⁸⁵, der als Teil eines Denkkollektivs handelt, eine entscheidende Rolle.

76 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 109.

77 Bennett, »A brief history of automatic control«, S. 19, Hervorhebung von mir.

78 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 108.

79 Ebd., S. 111.

80 Ludwik Fleck. »Das Problem einer Theorie des Erkennens«. In: *Erfahrung und Tatsache*. Hrsg. von Lothar Schäfer und Thomas Schnelle. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1983 [1939], S. 84–127, S. 87.

81 Vergleiche hierzu Rheinberger, *Historische Epistemologie zur Einführung*, S. 47–55.

82 Ebd., S. 48.

83 Fleck, »Das Problem einer Theorie des Erkennens«, S. 121–122.

84 Ebd., S. 103.

85 Rheinberger, *Historische Epistemologie zur Einführung*, S. 49.

Tatsächlich steht nicht nur Rheinberger explizit in der Tradition Flecks, auch der Paradigmenbegriff Kuhns ist als Reaktion auf Flecks „Denkstil“ und „Denkkollektiv“ anzusehen.⁸⁶ Kuhn hat Fleck rezipiert und liefert mit „Paradigma“, so die Wissenschaftsphilosophin Babette Babich, eine „periphrastische“ Übersetzung⁸⁷, dank der sich Flecks Ideen in der Ära des kalten Krieges fruchtbar machen lassen, in der ein Sprechen von Denkkollektiven mit dem wissenschaftstheoretischen Denkstil des Westens⁸⁸ inkommensurabel ist. Der „banale“ Grund dafür ist einerseits, dass der Begriff des Kollektivs zu dieser Zeit untrennbar mit den Ideen des Kommunismus verknüpft ist⁸⁹, andererseits weichen Flecks Begrifflichkeiten zu sehr von der Vorstellung der Entwicklung exakter Wissenschaften nach dem Vorbild einer idealisierten Naturwissenschaft ab.⁹⁰ Vor diesem Hintergrund schwächt der Begriff des Paradigmas die Idee einer radikalen soziokulturellen „Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache“ zur Idee von normaler Wissenschaft und revolutionären Übergängen zwischen ihren Paradigmen ab.⁹¹ Die Idee der wissenschaftlichen Revolution erscheint so als Übersetzung von Flecks „Entstehung und Entwicklung“ in die Sprache einer Wissenschaftstheorie, für die sich Tatsachen immer noch nicht entwickeln, die Existenz wissenschaftlicher Revolutionen aber ein ahistorisches Faktum ist: „Only a lack of historical background sophistication (what the Germans call *Wissenschaft* with respect to history itself) internal to the discipline of history and philosophy of science could have permitted the enduring influence of the idea of revolution as a »fact« so very contrary to the complex dynamic of the empirical history of science.“⁹²

Die hier vertretene Lesart des Paradigmenbegriffs im Sinne der „Konstellation von Meinungen, Werten, Methoden“ und einer Betonung des stillschweigenden Wissens, die auch Kuhn erst sieben Jahre nach dem erstmaligen Erscheinen seiner „Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ formulieren wird, wird so als eine (wenn man so will) Rückübersetzung Kuhns erkennbar, die einerseits an Begriffen wie „Paradigma“ und „normale Wissenschaft“ festhalten will, dabei andererseits aber die Rolle von Kollektiv und Stil im Sinne Flecks reaktivieren möchte. Denn der Paradigmenwechsel in der Regelungstechnik der 1930er Jahre lässt sich zu gut als klassischer Paradigmenwechsel beschreiben, um auf den Begriff zu verzichten. Zugleich wird er sich zu sehr als Veränderung des Denkstils des beteiligten Kollektivs

86 Babette E. Babich. »From Fleck's Denkstil to Kuhn's paradigm: Conceptual schemes and incommensurability«. In: *International Studies in the Philosophy of Science* 17.1 (2003), S. 75–92.

87 Ebd., S. 81.

88 „[...] what one might still call the »received view« in philosophy of science [...]“ ebd., S. 76

89 Ebd., S. 82.

90 Ebd., S. 78.

91 Ebd., S. 82.

92 Ebd., S. 82–83, Hervorhebung im Original.

äußern, für das neue epistemische Dinge und vielleicht sogar eine neue Epistemologie die Folge sind – weit über die Grenzen einer Regelungs- und Nachrichtentechnik hinaus.

2.3.2 *Material, Signal, Information*

Bereits die „generic systems“ der neuen „klassischen“ Regelungstechnik bergen ein Potential umfassender Veränderung der Sprache und Kulturen nicht nur ihrer Ingenieure in sich. In den Analogrechnern des MIT übertragen und verstärken Servomechanismen eine Bewegung die eine Zahl *ist* und gleichen dabei die Widerstände des Materials aus, um die Übertragung und Verrechnung der unverfälschten Zahl zu gewährleisten. Ganz ähnlich erlaubt es die Feedbackschaltung im *electronic negative feedback amplifier*, die übertragene Sprache unabhängig von den materiellen Bedingungen der Verstärker zu behandeln. Feedback erlaubt es also, die Funktionalität von Geräten von den materiellen Bedingungen ihres Funktionierens zu trennen.

Das bedeutet, dass es reicht zu wissen, wie ein *electronic negative feedback amplifier* (quasi-)unabhängig von seinen Umweltbedingungen und seiner konkreten Realisierung mit einem Telefongespräch verfahren wird, um ihn beschreiben zu können. Er wird sich durch den Einsatz von Feedback zur Selbstkorrigierung auch unter variablen Bedingungen stabil verhalten. Dank Feedback müssen die „generic systems“ daher nicht länger unter Rückgriff auf ihre materielle Realisierung beschrieben werden, sie lassen sich vollständig über ihre Funktion definieren. Und die ist durch das Verhältnis ihrer Eingaben zu ihren Ausgaben gegeben: etwa durch das Verhältnis der Wellenformen gesprochener Sprache vor und nach der Verstärkung. Diese Abstraktion einer Funktion von ihrem Material setzt eine Entwicklung fort, die mit der mathematischen Beschreibung des Verhaltens von Schaltungen begonnen hatte und in deren Zuge bereits die Lösung einer abstrakten *network theory* von einer mit konkreten Objekten beschäftigten *device theory* stattfand.⁹³ Die Kybernetik wird diese Lösung später radikalisisieren und den inneren Aufbau der Systeme die sie analysiert vollständig ausblenden. Ist diese Ausblendung vollzogen, kann sich schließlich der Begriff der „black box“ durchsetzen, der der Reduzierung von Systemen auf die Beziehung ihrer Eingaben zu ihren Ausgaben einen Namen gibt.⁹⁴

93 Vitold Belevitch. »Summary of the History of Circuit Theory«. In: *Proceedings of the IRE* 50.5 (1962), S. 848–855, S. 849.

94 Der Begriff der *Black Box* bezeichnet ein System, dessen innerer Aufbau unbekannt ist und nur über das Verhältnis seiner Ein- und Ausgaben zueinander erschlossen werden kann. Wiener schreibt 1961: „I shall understand by a black box a piece of apparatus [...] which performs a definite operation on the present and past of the input potential, but for which we do not necessarily have any information of the structure by which this operation is performed.“ Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. xi. Zur Einführung in die Thematik vergleiche

Sind die einzelnen Teile eines Servomechanismus so auf ihre Ein- und Ausgaben reduziert, können sie als unabhängige Bauteile eines größeren Ganzen betrachtet werden. Die Ingenieurspraxis geht in der Folge dazu über, feedbackgesteuerte Schaltungen und Mechanismen als Systeme aus unabhängigen Blöcken zu betrachten – eine Entwicklung, die bereits im *Product Integrator* angelegt ist: „The servo made the successive stages of the integrator into *modular system blocks*“⁹⁵. Das Gesamtsystem stellt sich dann als eine Verkettung dieser Blöcke (die manchmal auch „Elemente“ genannt werden) dar. Eine Einführung in die Regelungstechnik der *classical period* schreibt dazu: „It is therefore convenient to analyse the controller into a series of elements with the output of each as the input of the succeeding one.“⁹⁶ Diese Sequenz wird häufig als *control chain* bezeichnet.

Ein wichtiger Teil der Sprache, die Black und Hazen etablieren, besteht in Diagrammen, wie etwa dem mit dem Black den *electronic negative feedback amplifier* grafisch darstellt (Abbildung 8). Diese Darstellungsform wird sich bald durchsetzen und so werden die *control chains* am MIT zu Diagrammen, die die Verkettung einzelner Blöcke visualisieren. Mit Hilfe solcher Blockdiagramme lassen sich die Übertragungsfunktionen komplexerer Systeme bestimmen, um das *Nyquist stability criterion*, das zunächst gegen das Problem des *singing* von Verstärkern entwickelt worden war, auf sie anzuwenden.⁹⁷ Dies ist die prägende Praxis der *classical period*: „The block diagram is heavily used to determine transfer functions of composite systems. An exact description of the behavior of the internal system dynamics is not needed for classical design; that is, only the input/output behavior of the system is of importance.“⁹⁸ Für die „composite systems“ der Regelungstechnik gilt also, was auch für deren einzelne Elemente gilt. Das Verhältnis von Ein- zu Ausgabe definiert sowohl das Ganze, wie seine Teile.

So trennt Feedback in der klassischen Regelungstechnik das, *was* eine Schaltung oder ein Mechanismus verarbeitet, davon, *wie* es verarbeitet wird. Es entkoppelt die Bewegung, die eine Zahl *ist*, von den Problemen des Antriebs und der Reibung und es macht die Spannungsschwankung, die gesprochene Sprache *ist*, unabhängig von Röhren und Batterien. So werden Nachrichten und Nachrichtentechnik genau so voneinander getrennt wie Zahlen und Analogrechner. Und so kann das, was von Block zu Block einer *control chain* weitergereicht wird, zu einer eigenständigen Größe

auch Jan Müggenburg. »Spannung, Spiel und Schwarzgerät. Zur Kulturtechnik des Unboxing«. In: *Off Topic* 4 (2013), S. 30–34

95 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 157, Hervorhebung von mir.

96 Macmillan, *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*, S. 1.

97 Bennett, »A brief history of automatic control«, S. 20.

98 Lewis, »Applied Optimal Control and Estimation; Digital Design and Implementation«.

werden, die nicht länger im Zusammenhang mit den verwendeten Geräten gedacht werden muss. Erst wenn die Rotation mechanischer Integratoren weder „necessary energy output“ zu sein hat, noch Reibung unterworfen ist, kann sie tatsächlich zur Zahl werden: „For the MIT machines, the servomechanism [...] abstracted the numerical data away from the machines itself.“⁹⁹ Und auch für die *electronic negative feedback amplifier* gilt: „They furthered the separation of the message inherent in the telephone signal from the energy required to transmit it down the line.“¹⁰⁰

Im Zuge dieser Entwicklung macht es schließlich Sinn, der in diesem Sinne „übertragenen“ Größe einen allgemeinen Namen zu geben, der nicht länger damit zusammenhängt, ob die Maschine rechnet, Nachrichten überträgt oder etwa ein Schiff auf Kurs hält. Die oben zitierte Einführung in die Regelungstechnik fährt nach der Einführung der *control chain* daher fort: „The operative quantity passed from each element is called a *signal*.“¹⁰¹

Während Sprache oder Zahlen so in der allgemeinen Kategorie des Signals zusammenfallen, verbindet sich diese mit einer alten Tradition, nach der Signale zunächst buchstäbliche Signale sind: Jahrhundertlang werden Nachrichten mittels Feuertelegraphenlinien und später durch optische Telegrafen signalisiert.¹⁰² Als sich im neunzehnten Jahrhundert die elektrische Telegrafie entwickelt¹⁰³, werden die Signale zu Spannungsschwankungen und bereiten ihre materialunabhängige Entsprechung langsam vor. In dieser Vorbereitung ist bereits früh die Intuition wirksam, dass eine effiziente Übermittlung von Nachrichten davon profitiert, wenn häufige und damit wahrscheinlichere Nachrichten durch kürzere Signale bezeichnet werden – eine Intuition, die sich am prominentesten im Morse-Alphabet niederschlägt, das etwa dem wahrscheinlichen „e“ wenige kurze Zeichen zuordnet, dem unwahrscheinlichen „q“ viele lange.¹⁰⁴

Diese Intuition wird schließlich vor allem in den *Bell Laboratories* formalisiert: Claude E. Shannon zeigt hier, was es heißt Nachrichten effizient zu übermitteln und dass dies von der Gesamtmenge möglicher Nachrichten, die gesendet werden könnten, und von der Wahrscheinlichkeit jeder einzelnen abhängt. Das statistische Maß für die Wahlfreiheit der Nachrichten einer Nachrichtenquelle nennt Shannon, im Anschluss an Vorarbeiten von Nyquist und Hartley, aber auch von

99 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 156.

100 Ebd., S. 135.

101 Macmillan, *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*, S. 1, Hervorhebung im Original.

102 Vergleiche Rolf Oberliesen. *Information, Daten und Signale: Geschichte technischer Informationsverarbeitung*. Reinbek: Rowohlt, 1982.

103 Ebd., S. 82-128.

104 Ebd., S. 128.

Wiener, schließlich „Information“¹⁰⁵. Dieser technische Informationsbegriff bezieht sich so zunächst auf die Auswahl diskreter Nachrichten, Shannon erweitert ihn aber auf kontinuierliche Funktionen. Dass diese sich im mathematischen Informationsbegriff verbinden können, liegt wesentlich an der Entwicklung des Verfahrens der Pulse-Code-Modulation, welches kontinuierliche Signale diskretisiert. Shannon beginnt seine Abhandlung zur Informationstheorie daher mit dem direkten Verweis auf dieses Verfahren¹⁰⁶ und macht damit zugleich klar, wie sehr Information als epistemisches Ding hier wieder Seditationsprodukt lokaler und disziplinärer Arbeitstradition ist.¹⁰⁷

Mit dem Informationsbegriff formuliert Shannon aber nicht nur, was die Ingenieurspraxis ihn lehrt, sondern auch die Firmenpolitik seines Arbeitgebers AT&T, für die die Universalität der eigenen Produkte und Patente von Interesse ist. Frank Jewett, der Gründungspräsident der Firma proklamiert 1935:

We are prone to think and, what is worse, to act in terms of telegraphy, telephony, radio broadcasting, telephotography, or television, as though they were things apart. [...] [T]hey are merely variant parts of a common applied science. One and all, they depend for the functioning and utility on the transmission to a distance of some form of electrical energy whose proper manipulation makes possible substantially instantaneous transfer of intelligence.¹⁰⁸

Signale als „übertragene Quantität“ werden hier zu den Elementen der Menge möglicher Übertragungen. Das Blockdiagramm der Nachrichtenübertragung weist ihnen einen Ort im Kanal zwischen „transmitter“ und „receiver“ zu: Ersterer übersetzt die Nachrichten in Signale, letzterer kehrt diese Übersetzung um – Kodierung und Dekodierung (Abbildung 9).¹⁰⁹ Shannon formalisiert mit seiner Theorie der Information also eine weitere Stufe der Abstraktion. Information ist hier weder Material noch materialunabhängiges Signal, sondern eine Eigenschaft der Nachrichtenquelle für die es eine optimale Kodierung zu finden gilt. Als solche gibt der Begriff dem „transfer of

¹⁰⁵ Claude E. Shannon und Warren Weaver. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana und Chicago: University of Illinois Press, 1963, S. 32, 48-53. Zur Vorgeschichte des Konzepts vergleiche auch John R. Pierce. »The early days of information theory«. In: *IEEE Transactions on Information Theory* 19.1 (1973), S. 3-8.

¹⁰⁶ Shannon und Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, S. 31.

¹⁰⁷ Ein Kontext, der immer nicht nur Nachrichtentechnik sondern auch Militärtechnik ist. Zur engen Verzahnung der Geschichte Shannons Theorie der Information mit der der Entwicklung ferngelenkter Flugabwehrraketen vergleiche Axel Roch. *Claude E. Shannon: Spielzeug, Leben und die geheime Geschichte seiner Theorie der Information*. Berlin: Gegenstalt, 2009.

¹⁰⁸ Zitiert nach David A. Mindell. »Opening Black's Box: Rethinking Feedback's Myth of Origin«. In: *Technology and Culture* 41.3 (2000), S. 405-434, S. 433-434.

¹⁰⁹ Shannon und Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, S. 34.

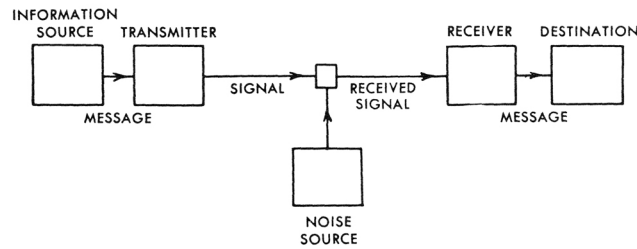


Abbildung 9: Shannons berühmtes schematisches Diagramm der Kommunikation (aus Claude E. Shannon und Warren Weaver. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana und Chicago: University of Illinois Press, 1963, S. 34).

intelligence“ einen Namen, der allen Entwicklungen der *Bell Laboratories* gemein sein sollte.

Wenn Bennett also festhält, „The problem is to devise an electro-mechanical positioning system which will accurately follow a rapidly changing signal“¹¹⁰ kann er hier von Signalen sprechen, weil die Lösung für dieses Problem den Signalbegriff ermöglicht und die Geschichte ihm zur allgemeinen Bekanntheit verholfen hat. Nachdem Feedback die Übertragung einer Quantität erlaubt, die nicht länger „necessary energy output“ zu sein hat, können Signale und Informationen sich als eigenständige Kategorien jenseits von Materie etablieren. „Im Signal weist Materie über sich selbst hinaus“¹¹¹ schreibt Frieder Nake und Norbert Wiener kann bereits 1948 festhalten: „Information is information, not matter or energy.“¹¹²

2.3.3 Feuerleitung: Der Mensch als Servo

Auch wenn sich entscheidende Entwicklungen auf dem Weg zu einer einheitlichen *feedback culture* aus den Problemen beim Aufbau der amerikanischen Strom- und Telefonnetze speisen, sind Nachrichten- und Regelungstechnik immer auch von Bedeutung für die militärische Forschung. Nicht wenige der Beispiele für Servomechanismen *avant la lettre*, auf die Hazen sich bezieht, sind militärischer Natur und bereits im ersten Weltkrieg werden auf Kriegsschiffen in Geräten wie dem *Ford Rangekeeper* mechanische Integratoren nach dem Prinzip des „disc-and-wheel“-Integrators eingesetzt, um die Position gegnerischer Schiffe zu extrapolieren.¹¹³ Auch in den 1930er Jahren werden viele der Fortschritte der Regelungstechnik im Zusammenhang

¹¹⁰ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 101.

¹¹¹ Frieder Nake. »Das algorithmische Zeichen und die Maschine«. In: *Perspektiven der Gestaltung von Arbeit und Technik*. Hrsg. von Erich Latniak und Hansjürgen Paul. München und Mering: Rainer Hampp Verlag, 2004, S. 203–223.

¹¹² Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 132.

¹¹³ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 35.

mit automatischer Feuerleitung gemacht.¹¹⁴ Da spätestens mit den Veröffentlichungen Hazens das *Electrical Engineering Department* eine zentrale Rolle in der akademischen Regelungstechnik spielt, wundert es wenig, dass die *Navy* 1936 die Abteilung bittet, ein Kursprogramm für Offiziere zu entwerfen. Wenn Hazen nach seinen zentralen Veröffentlichungen zunehmend zum Lehrer wird, dann auch, weil er mit den Entwurf dieses Lehrprogramms betraut ist.¹¹⁵

Bush, der vor Hazen die Abteilung geleitet hatte, ist inzwischen vom MIT nach Washington gewechselt, wo er Leiter der *Carnegie Institution* wird.¹¹⁶ Er hat damit eine wichtige Position in der amerikanischen Wissenschaftsförderung inne. Als Vorsitzender des *National Advisory Board of Aeronautics* ist er darüber hinaus eng in die Entwicklungen der militärischen Luftfahrt eingebunden. Für ihn wird schnell klar, dass eine der größten Herausforderungen in diesem Bereich das „anti-aircraft problem“ ist: Das schlichte Problem, feindliche Bomber abzuschießen. Mit dem ausdrücklichen Verweis auf dieses Problem regt er noch vor dem Kriegseintritt der USA die Gründung eines Rates zur Koordination der militärischen Forschung des Landes an. Dieser Rat wird 1940 als *National Defense Research Committee* oder NDRC gegründet und Bush unterstellt. Mit der Abteilung D-2 wird hier die Koordination der Luftabwehrforschung als *fire control division* institutionalisiert. Leiter der Abteilung wird der Mathematiker Warren Weaver.¹¹⁷ Der erste Vertrag, den die Abteilung abschließt, ist ein Vertrag mit dem MIT. Er ermöglicht der Hochschule die Fortsetzung der engen Zusammenarbeit mit der *Navy*, die jetzt einen eigenen Ort bekommt: das *Servomechanisms Laboratory*.¹¹⁸

Der Zusammenhang von feedbackgesteuerten Servomechanismen und Feuerleitung greift dabei weit tiefer als die bloße Tatsache, dass Rechner wie der *Differential Analyzer* auch die Flugbahnen von Projektilen oder Flugzeugen berechnen können. Sobald sich Feuerleitung gegen bewegliche Ziele wie Schiffe oder Flugzeuge richtet, setzt sie voraus, dass die Position dieser Ziele verfolgt werden kann, und dass diese Verfolgung zur Grundlage der Ausrichtung eines Geschützes wird. Ein Rechner wie der *Differential Analyzer*, dessen Eingabe in der Verfolgung eines Signals besteht, der Differentialgleichungen wie die von Geschossbahnen berechnet und der ein Ergebnis liefert, das eine Bewegung *ist*, unterscheidet sich von einem Feuerleitsystem nur graduell. Da das Servoproblem im Kern das Problem der Verfolgung ei-

¹¹⁴ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 115.

¹¹⁵ Ebd., S. 111.

¹¹⁶ Hierzu und zum Folgenden vergleiche Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 186-191.

¹¹⁷ Als das NDRC 1942 reformiert wird, übernimmt Hazen die Leitung der *fire control division*, die dann zur *Division 7* wird. Weaver übernimmt die Leitung des *Applied Mathematics Panel*. Die Arbeit in diesen Bereichen ist der Grund für seine Verbindung zu Shannons Entwicklung der Informationstheorie.

¹¹⁸ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 207.

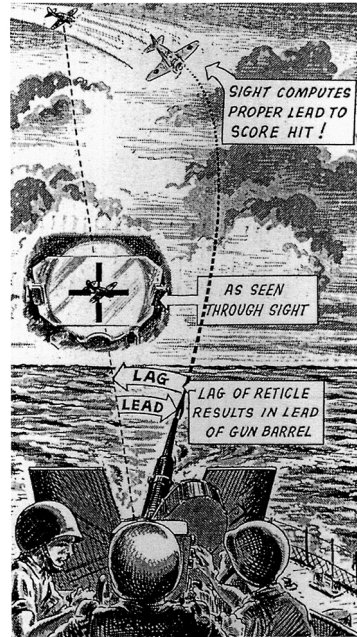


Abbildung 10: *Lag und lead in der Flugabwehr* (aus David A. Mindell. *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2004, S. 222).

nes veränderlichen Signals ist, ist es mit dem „anti-aircraft problem“ identisch: „The problem that has to be solved [...] is, of course, the classic servomechanism problem of forcing an output to follow accurately a continuously changing input signal.“¹¹⁹

Zu Beginn des zweiten Weltkrieges stammt diese kontinuierlich veränderliche Eingabegröße meist aus der Bewegung einer Handkurbel, mit der die Position eines Flugzeuges verfolgt wird, während die entsprechende Ausgabe in der zunächst manuellen Ausrichtung eines Geschützes oder Suchscheinwerfers besteht. Das manuelle Verfolgen der Zielposition mittels einer Kurbel wird im Militärjargon als *laying* bezeichnet. Da bewegliche Ziele ihre Position ändern werden, während auf sie geschossen wird, ist diese Ausrichtung immer auf eine zukünftige Position gerichtet. Das Zielen, das auf das *laying* folgt, muss dem Ziel daher um eine *lead* genannte Differenz voraus sein (Abbildung 10). Der Weg vom *laying* zum *lead* (oder vom Input zum Output) ist mitunter sehr lang. Zu den Stationen auf diesem Weg gehören nicht selten mehrere Menschen: „The operator remained part of the control loop (in some of the early fire control systems were 14 operators)“, hält etwa Bennett fest¹²⁰.

Die Entsprechung von Feuerleitung und dem Servoproblem betrifft also auch die Rolle der *operator*. Das *laying* der Flugabwehr entspricht direkt dem *tracking* des analogen Rechnens – der manuellen Eingabe

¹¹⁹ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 130.

¹²⁰ Ebd., S. 165.

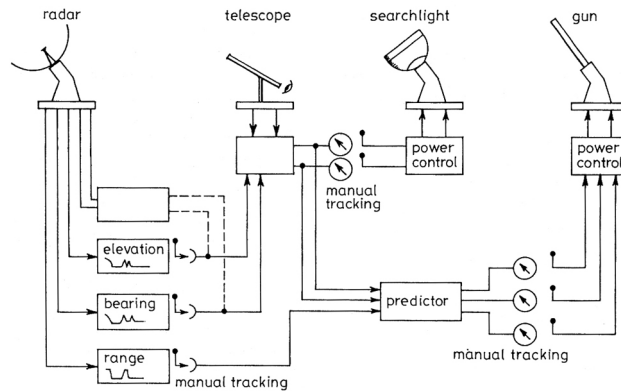


Abbildung 11: Die *control chain* der Flugabwehr zur Zeit des Zweiten Weltkriegs (aus Stuart Bennett. *A History of Control Engineering 1930-1955*. Hitchin: Peter Peregrinus Ltd., 1993, S. 118).

von Funktionswerten an den *instruments* des MIT. Aus Ingenieursicht ist es schlicht und einfach das selbe. Auch hier bilden die Bediener durch ihre Bewegungen einen integralen Teil der Rückkopplungssysteme. Sie sind „part of the control loop“ und bekommen dementsprechend einen Platz in den Blockdiagrammen der *control chain* der Flugabwehr (Abbildung 11).

Als handelnde Beobachter sind die *operator* aber mögliche Fehlerquellen – wie schon die Astronomen bei der Beobachtung von Sterndurchgängen mit der Auge-Ohr-Methode oder am unpersönlichen Mikrometer, dessen Benutzung vom militärischen *laying* kaum zu unterscheiden ist. Und wie die frühe Experimentalpsychologie die systematischen Fehler im Verhalten der Astronomen zumindest vorgab in den Blick zu nehmen, nehmen nun die Ingenieure der klassischen Regelungstechnik das Verhalten ihrer *operator* in den Blick. Bennett fährt daher fort: „and there was considerable interest in expressing the operator’s behaviour in some formal, and preferably quantitative manner.“¹²¹

Auch für Harold Hazen spielen menschliche Bediener von Feuerleitungssystemen eine entscheidende Rolle. 1941 schreibt er in einem Memo an Weaver, dass deshalb eben diese Bediener genauer untersucht werden müssen: „Hazen became convinced that more must be learned about »the dynamic characteristics of the human being as a servo and therefore his effect upon the dynamic performance of the entire fire control system«“. ¹²²

Dass Menschen also Servomechanismen sind, ist hier durchaus wörtlich zu verstehen. Denn einerseits erfüllen menschliche Bediener in den *control chains* von Feuerleitung oder analogem Rechnen genau die Funktion von Servomechanismen: Sie verfolgen, verstärken und übertragen veränderliche Signale. Andererseits geht die In-

¹²¹ Ebd.

¹²² Ebd., S. 167, Hervorhebung von mir.

genieurspraxis intuitiv davon aus, dass sie dies auch *so wie* Servomechanismen tun. Dazu wieder die Einführung in die klassische Regelungstechnik:

It is common practice to use a human being as one of the links in the chain of elements of a control system. He may perform a simple operation [...] or a superficially more complicated one, like steering a car; he then has to observe the difference between his car's actual heading and the desired heading, [...] and move his steering wheel to bring them into coincidence.¹²³

Während der erste Satz hier einfach die Praxis beschreibt, Menschen wie Servomechanismen einzusetzen, geht der zweite viel weiter, als dies bloß zu illustrieren: Vielmehr erklärt er die Vermutung zur Tatsache, dass menschliches Handeln in einer *control chain* durch den Vergleich von Ist und Soll (und damit durch negatives Feedback) ermöglicht wird, und dass Menschen daher Servomechanismen *sind*.

In diesem Licht wundert es nicht, dass die Flugabwehringenieure die Menschen in den Blockdiagrammen auch methodisch wie die anderen Blöcke behandeln: „Drawing on techniques used for testing mechanical systems, Hazen laid out a plan for finding a model for the human operator.“¹²⁴ Weaver lässt auf Grundlage von Hazens Memos die *fire control division* ein Programm zur Untersuchung des „human being as an element in feedback loops“¹²⁵ auflegen und die Suche nach formalen Modellen der Bediener kann beginnen.

Hatte die frühe Experimentalpsychologie den Rückgriff auf das Problem des fehlerhaften Beobachters in der Astronomie noch als Gründungsmythos benötigt, so können die Ingenieure mit ihrem Wunsch nach formalen oder gar quantitativen Modellen der Bediener nun auf die Ergebnisse eben dieser Psychologie zurückgreifen: So bedient sich etwa der Ingenieur H. K. Weiss der Messergebnisse des *Applied Psychology Panel* des NDRC.¹²⁶ Im Vordergrund stehen aber auch hier nicht psychologische, sondern die eigenen, regelungstechnischen Methoden: Weiss unterzieht die Messergebnisse einer informationstheoretischen Untersuchung und für Enoch Ferrell von den *Bell Laboratories* sind die Bediener Verstärker, deren instabiles Verhalten mit Hilfe des *Nyquist stability criterion* zu untersuchen ist.¹²⁷

Zur gleichen Zeit untersucht in England Arnold Tustin den Zusammenhang zwischen ausgeführter Bewegung und dabei gemach-

¹²³ Macmillan, *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*, S. 6.

¹²⁴ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 168.

¹²⁵ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 284.

¹²⁶ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 168.

¹²⁷ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 285.

ten Fehlern menschlicher *operator*. Er zeigt, dass dieses Verhältnis näherungsweise linear ist und wendet daraufhin seine Theorie linearer Servomechanismen auf das Bedienpersonal an. Am Ende dieser Untersuchung kann Tustin ein Modell wie das von Hazen geforderte vorweisen: Menschliche *operator* werden darin zum mathematischen *transfer operator*, ihr Verhalten zum *layer's response*: „Tustin concluded that the human operator could be represented by a transfer operator of the form $(a + bp)e^{-i\omega t}$ “¹²⁸. Der Wert $t = 0,3$ Sekunden gibt dabei die durchschnittliche Reaktionszeit an, die seit den Experimenten des Astronomen Hirsch aus der Beschäftigung mit dem fehlerhaften Beobachter (von Sterndurchgängen oder feindlichen Flugzeugen) nicht mehr wegzudenken ist.

Tustin arbeitet mit dem britischen Psychologen Kenneth Craik zusammen, der ebenfalls das Verhalten der menschlichen Elemente von Regelungsstrecken untersucht.¹²⁹ Auch für Craik ist klar, dass Menschen hier wie Servomechanismen arbeiten. Sein Text „Theory of the Human Operator in Control Systems“ hält fest: „The human operator behaves basically as an intermittent correction servo.“¹³⁰ Anschließend analysiert er zunächst das Verhalten der *operator* mit den technischen Begriffen der Regelungstechnik, um schließlich auch in Umkehrung dessen die technische Synthese solchen Verhaltens vorzuschlagen: „Electrical models could fairly exactly simulate the human operator's behavior in tracking.“¹³¹

Die Bediener von Servomechanismen sind aus Ingenieurssicht also vor allem Teil dieser Mechanismen. Sie werden mit den gleichen Methoden behandelt wie deren technische Elemente und durch formale Modelle als solche reformuliert. Während der Paradigmenwechsel hin zur klassischen Regelungstechnik die Grenze unterschiedlicher *feedback cultures* aus *control engineering* und *communication engineering* überschreitet, wird hier die Grenze zwischen lebendem *operator* und technischem Servomechanismus überschritten. Wieder ist Feedback das gemeinsame Prinzip, das diese Überschreitung ermöglicht. Der so angekündigten Entgrenzung eines Denkstils, die Galison als „Totalisierung“ des Feedbackbegriffs bezeichnet hat¹³², wird Wiener nach dem zweiten Weltkrieg in einem Buchtitel einen Namen geben: „Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine.“¹³³

128 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 167.

129 Ebd.

130 Kenneth Craik. »Theory of the human operator in control systems. I. The operator as an engineering system«. In: *British Journal of Psychology* 38 (1947), S. 56–61, S. 56.

131 Ebd., S. 59.

132 Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 308.

133 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*.

2.4 KYBERNETIK

2.4.1 *Der Anti-Aircraft Predictor*

Im Kontrast zu den Wiedergängern (oder der Farce) des »Cyber« gewinnt jedoch zugleich die frühe Zeit der Kybernetik wieder an Glanz und Größe. Nach 50 Jahren wird nicht nur die Radikalität einer epistemischen Erschütterung in ihren historischen Bedingungen prägnanter, sondern ist auch jene Schwelle erreicht, an der sich üblicherweise der Sprung vom „kommunikativen“ ins „kollektive“ Gedächtnis ereignet. Kein Wunder also, daß die Erinnerung der Kybernetik derzeit Konjunktur hat. Es ist an der Zeit, ihre Archive zu rekonstruieren und ihre Geschichte(n) zu schreiben, und man wird sich fragen müssen, wie sie zu schreiben sein könnten.¹³⁴

Als Wiener den totalisierten Feedbackbegriff Kybernetik tauft, ist er sich bereits im Klaren darüber, wie ihre Geschichte zu schreiben sein wird. Die Einleitung des Buches liefert eine Erzählung, die die Rezeption der Kybernetik nachhaltig prägen soll. Ausgangspunkt der Erzählung ist das *anti-aircraft problem*. Ihren Hintergrund bildet Wieners eigene Arbeit in der Entwicklung von Flugabwehrtechnologie.

„At the beginning of the war, the German prestige in aviation and the defensive position of England turned the attention of many scientists to the improvement of anti-aircraft-artillery“ führt Wiener das *anti-aircraft problem* ein.¹³⁵ Und natürlich gehört auch er zu den Wissenschaftlern, die ihre Aufmerksamkeit auf die Flugabwehr richten – obwohl er über keinerlei Erfahrung in diesem Feld verfügt.¹³⁶

Da zu Anfang des Zweiten Weltkriegs Flugzeuge meist sehr schnell und sehr weit entfernt sind, können zwischen Schuss und Abschuss 20 bis 30 Sekunden vergehen.¹³⁷ Daher müssen Schüsse immer auf die zukünftige Position eines Flugzeugs gerichtet sein. Wiener interessiert sich für die dazu notwendige Vorhersage und damit den Weg vom *laying* zum *lead*. Es ist wichtig, schreibt er, „to shoot the missile, not at the target, but in such a way that missile and target may come together in space at some time in the future. We must hence find some method of predicting the future position of the plane.“¹³⁸ Er bietet der *fire control division* des NDRC daher an, sich mit der Vorhersage von Flugbewegungen zu beschäftigen und erhält im Dezember 1940 einen Vertrag zur Arbeit an den mathematischen Grundlagen solcher

¹³⁴ Pias, »Zeit der Kybernetik – Eine Einstimmung«, S. 9.

¹³⁵ Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 5.

¹³⁶ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 278.

¹³⁷ Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 197.

¹³⁸ Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 5.

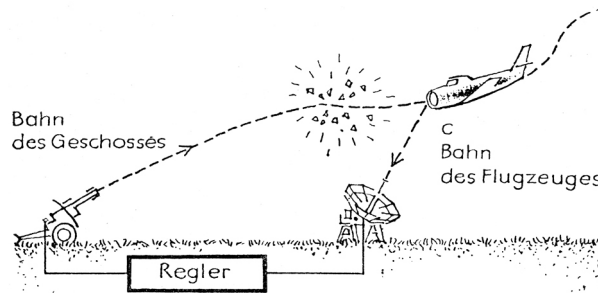


Abbildung 12: Flugabwehr als Feedback-Loop (aus Georg Klaus und Heinz Liebscher. *Was ist, was soll Kybernetik?* 2. Aufl. Leipzig, Jena und Berlin: Urania-Verlag, 1967, S. 48).

Vorhersagen und ihrer Anwendung.¹³⁹ Ziel der Arbeit ist schließlich die Konstruktion eines geeigneten Vorhersageinstruments, des *Anti-Aircraft Predictor*.

Wie schon für Hazen, Tustin oder Craik, ist auch für Wiener die Rolle des menschlichen Bedienpersonals in der Flugabwehr von großer Bedeutung: Zwar können, so Wiener, die Daten, mit denen ein automatischer *predictor* arbeitet, direkt aus einem Radar stammen, aber „in the more usual case, there is a human gun-pointer or a gun-trainer or both coupled into the fire-control system, and acting as an essential part of it.“¹⁴⁰ Darüber hinaus sitzen die Menschen im *control loop* der Flugabwehr nicht nur am Boden: Schließlich vollzieht sich diese Schleife vom gegnerischen Flugzeug aus, über dessen *laying*, die Vorhersage seiner zukünftigen Position und den Schuss dorthin wieder zurück zum Flugzeug. Und das hat in der Regel einen menschlichen Piloten (Abbildung 12).

Die Vorhersage der zukünftigen Position eines Flugzeugs ist für Wiener daher nicht alleine ein Problem der Physik: Der gegnerische Pilot wird versuchen so zu fliegen, dass er nicht getroffen werden kann. Weil er aber eingeschlossen ist in eine Schleife zwischen den „control surfaces“ des Flugzeugs und der Flugphysik¹⁴¹, gilt es ein Verhalten vorherzusagen, das teilweise, aber nicht vollständig willkürlich ist. Ganz im Einklang mit dem Systemdenken der klassischen Regelungstechnik ist dieses Verhalten für Wiener Resultat eines Systems aus dem Piloten und seiner, durch die Physik und *controls* bedingten und durch Training nahegelegten, Möglichkeiten.

Wiener stellt den Ingenieur Jonathan Bigelow ein, und zusammen experimentieren sie mit ersten *lead networks*. Weil sie aber Wert auf das Verhalten von Systemen aus Pilot und Flugzeug legen und keine Daten realer Flugmanöver besitzen, steht noch vor dem Test dieser *networks*, die Konstruktion eines frühen Computerspiels:

¹³⁹ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 278.

¹⁴⁰ Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 6.

¹⁴¹ Ebd., S. 5.

We had reflected on the ceiling a spot of light, moving in a more or less periodic course. We tried to follow this spot with another, reflected in a mirror which was controlled by a certain apparatus. In this apparatus, the actual motion of the spot was not proportional to the turning of the crank which regulated it but to a rather complicated mixture of derivatives and integrals of this motion. Moreover, the crank was attached to a system of weights and springs, which was very far from giving the kinesthetic sensations which one would naturally associate with an apparatus of the sort. In other words the spot had to be moved by a control which was complicated to begin with and, furthermore, felt completely wrong.¹⁴²

Dieses Spiel reproduziert mit der Handkurbel und dem Licht an der Decke, dem es mit der Kurbel und dem daran gekoppelten zweiten Licht zu folgen gilt, nicht nur direkt die Situation, wie sie sich für einen *layer* in der Flugabwehr darstellt. Es hat darüber hinaus das Ziel, Testdaten für die Vorhersage von Flugbewegungen zu liefern. Denn da das zweite Licht erstens dem ersten in seiner periodischen Bewegung folgen soll, dabei aber zweitens schwer zu steuern ist, soll seine Bewegung strukturell der eines ausweichenden Flugzeugs im Zielflug entsprechen. Die Handkurbel der Flugabwehr wird dabei an ein kompliziertes mechanisches Arrangement gekoppelt, um die Verknüpfung menschlichen Verhaltens mit den technischen Bedingungen des Fliegens zu simulieren – „to duplicate in some degree the properties of the type of irregular motion of an airplane in flight.“¹⁴³ Um weitere Irregularitäten in das System einzuführen, richtet Bigelow den Lichtstrahl schließlich von der Decke auf die Wand des Labors, wo er an den Ecken des Raums nicht-sinusförmige Bewegungen ausführt.¹⁴⁴ Dieses Arrangement liefert die Daten, an Hand derer der *Anti-Aircraft Predictor* entwickelt wird.

Die Tests mit den *lead networks* zeigen aber bald, dass die Schaltung mit den gleichen Problemen zu kämpfen hat wie alle Servomechanismen. Oszillationen hoher Frequenz – das Zittern der Hand eines *layers* oder schnelle Bewegungsänderungen des Flugzeugs – werden zu stark verstärkt und das System wird instabil¹⁴⁵: es kommt zum *hunting*. Im Angesicht dieser praktischen Probleme verlegen sich Wiener und Bigelow darauf, einen statistischen *predictor* zu bauen.¹⁴⁶ Die-

¹⁴² Norbert Wiener. *I am a mathematician. The later life of a prodigy*. Garden City, NY: Doubleday, 1956, S. 250.

¹⁴³ Ebd., S. 251.

¹⁴⁴ Flo Conway und Jim Siegelman. *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*. New York, NY: Basic Books, 2006, S. 112.

¹⁴⁵ Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 278.

¹⁴⁶ Conway und Siegelman, *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*, S. 113.

ser vergleicht den vergangenen und gegenwärtigen Verlauf einer verrauschten Eingabefunktion um diese vom Rauschen zu trennen und in die Zukunft zu extrapolieren:

Consider a function of time $f(t)$ which is the sum of a function $g(t)$ [which could be the coordinates of a moving plane] and a noise $f(t) - g(t)$. How best to determine $g(t + h)$ for some $h > 0$ from a knowledge of $f(t - \tau)$ for $\tau < 0$?¹⁴⁷

Die Lösung zur Trennung und Vorhersage von $g(t)$ basiert auf der Berechnung eines Wiener-Hopf-Integrals, das die Autokorrelation der verrauschten Funktion einschließt und das „a statistical analysis of the correlation between the past performance of a function of time, and its present and future performance“¹⁴⁸ durchführt. Die Differenz zwischen der so vorhergesagten und der daraufhin beobachteten Flugbewegung dient nun der Berechnung des mittleren quadratischen Fehlers, den das System schrittweise zu minimieren versucht. Obwohl Wiener und Bigelow sich also anders als die meisten ihrer Zeitgenossen auf Methoden der statistischen Mechanik stützen, bleiben sie der Arbeit mit Feedback verhaftet. Wenn das System den Fehler der eigenen Vorhersage minimiert, betrachtet es ihn als Eingabe und schließt einen *feedback loop*.

Wiener und Bigelow fassen also die beobachtete Bewegung eines Flugzeugs als verrauschtes Signal auf, aus dem mit statistischen Methoden näherungsweise eine Nachricht extrahiert wird, die „die Intention eines angreifenden Piloten darstellen soll.“¹⁴⁹ Das Ergebnis der Arbeit ist dementsprechend ein Filter, der eine mathematisch optimale Trennung von Signal und Rauschen vornimmt. Die Vorhersage von Flugbewegungen ist damit mit dem Problem identisch, in dessen Angesicht Shannon die mathematische Informationstheorie formulieren wird: „Communication in the presence of noise“¹⁵⁰. Wieners Arbeit gilt daher als eine der Voraussetzungen für die Theorie Shannons¹⁵¹, wobei Wiener selbst darauf hinweist, dass die Idee eines statistischen Maßes für Information zur gleichen Zeit von verschiedenen Forschern formuliert wird.¹⁵²

¹⁴⁷ Norman Levinson zitiert nach Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 174.

¹⁴⁸ Wiener zitiert nach ebd.

¹⁴⁹ Axel Roch und Bernhard Siegert. »Maschinen, die Maschinen verfolgen: über Claude E. Shannons und Norbert Wieners Flugabwehrsysteme«. In: *Konfigurationen: zwischen Kunst und Medien*. Hrsg. von Sigrid Schade. München: Fink, 1999, S. 223.

¹⁵⁰ Claude E. Shannon. »Communication in the Presence of Noise«. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 37.1 (1949), S. 10–21.

¹⁵¹ Pierce, »The early days of information theory«, S. 4.

¹⁵² Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 10–11. Anders als Wieners Arbeit, zeichnet sich die Version Shannons vor allem durch ihre unmittelbare Anwendbarkeit in der Nachrichtentechnik aus: „Shannon and Bode took considerable pains to put Wiener’s work in a form more directly useful to them (and to many others).“ Pierce, »The early days of information theory«, S. 4.

Zur gleichen Zeit arbeiten andere Forschergruppen am selben Problem. Nicht nur Craik macht sich während der Forschung zur „Theory of the Human Operator in Control Systems“ Gedanken darüber, wie sich die menschliche Komponente der Flugabwehr automatisieren ließe. Auch in den *Bell Laboratories* wird an Vorhersageinstrumenten gearbeitet. Die Nachrichtentechniker eines Teams unter Leitung von Henrik Bode und später auch Shannon gehen das Problem, wie Axel Roch und Bernhard Siegert detailliert gezeigt haben, aus einer wesentlich einfacheren Perspektive als Wiener und Bigelow an:¹⁵³ Sie konzentrieren ihre Analyse auf die geometrischen Eigenschaften der verfolgten Flugbahn und versuchen damit, „nicht den Wunsch eines Piloten, sondern schlicht dessen materielle Möglichkeiten zu bestimmen.“¹⁵⁴

Mit seiner Konzentration auf die Intention eines angreifenden Piloten mag Wieners Projekt weitaus ambitionierter als das der *Bell Laboratories* sein, letztendlich scheitert es jedoch. Am ersten Juli 1942 demonstrieren Wiener und Bigelow den *Anti-Aircraft Predictor* der Abteilung D-2. Warren Weaver und George Stibitz (von den *Bell Laboratories*) sind unter den Anwesenden und zeigen sich beeindruckt: „Im Bereich einer Sekunde ist das Verhalten ihres Instruments wirklich unheimlich“ schreibt Stibitz nach der Demonstration in sein Tagebuch¹⁵⁵. Und Warren Weaver spricht sogar von einem Wunder: „Weaver thought it was a »miracle«, but »was it a useful miracle?«“¹⁵⁶

Die beeindruckende Sekunde ist aber nicht *useful* genug für den Krieg. Zwar sind die Voraussagen des *Anti-Aircraft Predictor* sogar bis zu 2 Sekunden in die Zukunft brauchbar, aber selbst wenn man berücksichtigt, dass die Demonstration mit einem Modellpredictor durchgeführt wird, bei dem 2 Sekunden etwa 8 bis 10 Sekunden realer Flugzeit entsprechen¹⁵⁷, reicht diese Vorhersageleistung immer noch nicht, um die benötigten 20 bis 30 Sekunden zu überbrücken. Auch im direkten Vergleich mit dem Instrument der *Bell Laboratories* versagt der *Anti-Aircraft Predictor*.¹⁵⁸ Wieners Methode ist zwar mathematisch optimal, aber schlicht und einfach nicht praxistauglich.

Statt des *Anti-Aircraft Predictor* geht die Methode aus den *Bell Laboratories* als Luftabwehrsystem „M9“ in die Produktion. Es wundert nicht, dass diese „Maschine, die Maschinen verfolgt“¹⁵⁹, deren Piloten aber ausblendet, ihre größten Erfolge gegen ein unbemanntes

153 Vergleiche hierzu Roch und Siegert, »Maschinen, die Maschinen verfolgen: über Claude E. Shannons und Norbert Wieners Flugabwehrsysteme«, S. 219-230.

154 Ebd., S. 223.

155 Zitiert nach Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 296.

156 Zitiert nach Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 179.

157 Ebd.

158 Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 298.

159 Roch und Siegert, »Maschinen, die Maschinen verfolgen: über Claude E. Shannons und Norbert Wieners Flugabwehrsysteme«.

Flugobjekt feiern kann: Gekoppelt an ein Radar werden nach der Einführung der M9 drei Viertel der deutschen V1 abgeschossen.¹⁶⁰

2.4.2 A Wienerian Account

Trotz seines Scheiterns stellt Wiener die Geschichte des *Anti-Aircraft Predictor* in das Zentrum der Einleitung seines Buches. Die mathematischen Grundlagen des Systems hatte er bereits 1942 unter dem Titel „Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Applications“ niedergeschrieben. Der Text zirkuliert zunächst noch unter Geheimhaltungsaufgaben unter Ingenieuren und Wissenschaftlern und ist von nachhaltiger Wichtigkeit für Regelungstechnik und Signalverarbeitung.¹⁶¹ Die entscheidende Folge des Projektes kann man aber weniger in seinem Einfluss auf die klassische Regelungstechnik als in seiner diskursiven Wirkung in der Entgrenzung ihres Denkstils sehen. Wieners Verweis auf den *Anti-Aircraft Predictor* liefert die Folie vor der die Kybernetik rezipiert werden und auf deren Grundlage ihre Geschichte geschrieben werden wird.

Unter der Überschrift „Ex-prodigies and anti-aircraft guns“ popularisiert etwa Howard Rheingold 1985 die Kybernetik als Folge des *Anti-Aircraft Predictors*.¹⁶² Auf Grund ihrer Arbeit daran machen, so Rheingold, Wiener und Bigelow eine Entdeckung: „Wiener and Bigelow looked more closely at other servomechanisms, including self-steering machines as simple as thermostats, and concluded *feedback* is the concept that connects the way brains, automatic artillery, steam engines, autopilots and thermostats perform their function.“¹⁶³ Eine Erkenntnis, die schließlich geradezu kosmische Dimensionen annehmen wird: „It looked as if Wiener might be onto an even more cosmic link between information, energy and matter.“¹⁶⁴

In seiner wichtigen Arbeit zur „Ontologie des Feindes“ landet Galison bei einer ganz ähnlichen Rhetorik: „Schließlich wurde der AA-Prädiktor mitsamt seinen technischen Definitionen und Rückkopp-

160 Jérôme Segal. »The Pigeon and the Predictor. Miscarriage of a Cyborg in spite of foundations' support«. In: *American Foundations and Large Scale Research: Construction and Transfer of Knowledge*. Hrsg. von Giuliana Gemelli. CLUEB, 2001, S. 131–157, S. 140.

161 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 178.

162 Howard Rheingold. *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000, S. 99–114.

163 Ebd., S. 105. Eine ähnliche Erzählung liefert zum Beispiel Howard Gardner: „While working on these problems at the Massachusetts Institute of Technology, Wiener and his associate, a young engineer named Julian Bigelow, concluded that there were important analogies between the feedback aspects of engineering devices and the homeostatic processes by which the human nervous system sustains purposive activity.“ Howard Gardner. *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*. New York, NY: Basic Books, 1985, S. 15–16.

164 Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 112.

lungssystemen und *blackboxes* für Wiener zum Modell einer Kybernetik, die das ganze Universum umfassen sollte“¹⁶⁵. Deren Grundlage bildet auch hier Flugabwehr, sie ist der „Schlüssel zur Kybernetik“¹⁶⁶, weil in ihr der Feind als „mechanisiertes feindliches Gegenüber“¹⁶⁷ erscheinen kann: „In dieser Vorstellung verschmolz der feindliche Pilot derart mit der Maschine, daß die Grenze zwischen Mensch und Nicht-Mensch verwischt wurde.“¹⁶⁸ Erst diese „Ontologie des Feindes“ ermöglicht eine Kybernetik als Wissenschaft von Maschine, Tier und Mensch. Damit wird die Kybernetik auch ohne den Blick auf ihre Vorgeschichten und den Denkstil einer entstehenden *feedback culture* verstehbar – sie ist Folge des mechanisierten Krieges: „Mit der Kybernetik etablierte Wiener eine Reihe von Begriffen, die nicht auf dem Zeitgeist, sondern explizit auf Kriegserfahrungen beruhten.“¹⁶⁹ Dabei „fegt“ der Krieg „die rein wissenschaftlichen Fragen vom Tisch“¹⁷⁰. Vor der historischen Bedeutung der Neubestimmung des Verhältnisses Mensch-Maschine verblasst schließlich auch das praktische Scheitern des *Anti-Aircraft Predictors*, oder es wird gänzlich vergessen – wenn etwa Friedrich Kittler schreibt: „So gerüstet gingen die USA in den Zweiten Weltkrieg.“¹⁷¹

Diese Geschichte der Kybernetik macht zwar anschaulich, wie sehr die „Ontologie des Feindes“ in die Kybernetik (und ihre Rezeption) eingeschrieben ist, sie reproduziert aber letztlich Wieners eigene Darstellung. Die weiter oben beschriebene Vorgeschichte seiner Arbeit in der Regelungstechnik blendet Wiener dabei vollständig aus. Er verweist weder auf die neue Rolle, die Feedback in den 1930 Jahren erhalten hat, noch auf Bemühungen anderer, Flugbewegungen vorherzusagen. Auch detailliertere Betrachtungen zur Geburt der Kybernetik orientieren sich an dieser Geschichte und vermerken beispielsweise, dass zwar Wiener über den Einsatz von Feedback in der Regelungstechnik informiert war, er aber derjenige ist, der „beyond the technical details“ sehen wird.¹⁷² Der *standard account* der Geschichte der Kybernetik ist ein „Wienerian account“¹⁷³.

Dabei steht Wiener, wie erwähnt, am MIT in engem Kontakt zum *Electrical Engineering Department* und ist an der Entwicklung von Analogrechnern unmittelbar beteiligt.¹⁷⁴ Mit dem *Cinema Integrator*

165 Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 282.

166 Ebd., S. 285.

167 Ebd., S. 283.

168 Ebd., S. 285.

169 Ebd., S. 318.

170 Ebd., S. 281.

171 Friedrich Kittler. »Signal-Rausch-Abstand«. In: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig: Reclam, 1993 [1988], S. 161–181, S. 181.

172 Conway und Siegelman, *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*, S. 121–122.

173 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 6.

174 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 3.

schlägt er selbst einen analogen Integrator vor, der schließlich von Truman S. Gray entworfen und unter Verwendung eines Servomechanismus von Hazen gebaut wird.¹⁷⁵

Während ihrer Arbeit am *Anti-Aircraft Predictor* besuchen Wiener und Bigelow eine Reihe amerikanischer Forschungsstätten, die sich mit dem „human being as a servo“ befassen.¹⁷⁶ Und auch innerhalb des *Electrical Engineering Department* wird die Nähe ihrer Arbeit zu anderen Projekten wiederholt thematisiert. Extrapolation, Interpolation und Glättung sind Teil aller Servomechanismen, ob Motoren oder *lead networks*, und es gilt: „The servomechanisms group has known for a long while that one of the most important projects was the analysis and investigation of circuits and mechanisms that would provide a »lead« [...] or in other words make available means to anticipate the future value of some quantity of a function.“¹⁷⁷ Wieners Arbeit steht also in enger Beziehung zur vorangegangenen und gleichzeitigen Forschung am *Electrical Engineering Department*. Das auch andere gleichzeitig stattfindende Arbeiten ganz automatisch in die selbe Richtung wie die Kybernetik zu weisen scheinen, zeigt schließlich die Tatsache, dass Warren McCulloch Craiks Arbeit 1974 rückblickend zu einer der Quellen der Kybernetik erklären wird.¹⁷⁸

Wiener ist also Teil des Denkkollektivs der entstehenden *feedback culture*. Darüber hinaus ist seine Arbeit am *anti-aircraft problem* vollständig in seiner wissenschaftlichen Forschung angelegt – und schon alleine deshalb nicht ausschließlich Folge des Krieges. Sobald er die Bewegung eines Flugzeuges als Zeitreihe auffasst, kann er sein umfangreiches Wissen über statistische Mechanik in die Arbeit einfließen lassen. In den 1920er Jahren hatte er sich zusammen mit Bush mit Fourieranalyse beschäftigt und mit dem Text „Generalized Harmonic Analysis“ die Grundlagen einer Anwendung der Fourieranalyse auf nichtperiodische Funktionen geschaffen – und das Feld damit für die ingenieurwissenschaftliche Anwendung geöffnet.¹⁷⁹ Die darin entwickelte Methode fußt auf der Wiener-Autokorrelation – dem statistischen Maß, das im Zentrum des *Anti-Aircraft Predictor* stehen wird. Die „Generalized Harmonic Analysis“ ist auf Phänomene anwendbar, die zufälliges Verhalten zeigen, aber dennoch unveränderliche Attribute haben. In Folge dieser Arbeit wird die Trajektorie eines Teilchens

175 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 105.

176 Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 284-285.

177 Diese Bemerkung von Gordon Brown hat sehr handfeste Gründe: Seine Forschung am *Electrical Engineering Department* wird von der *Sperry Company* unterstützt, und Patente, die eventuell aus Wieners Arbeit resultieren, sollen auf Grund der gezeigten Nähe zur Arbeit seiner Arbeitsgruppe an diese Firma fallen. Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 173.

178 Warren S. McCulloch. »Recollections of the many Sources of Cybernetics«. In: *ASC Forum* 6 (1974), S. 5-16.

179 Eine detaillierte Auseinandersetzung findet sich in Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 175-176.

in Brown'scher Bewegung – eine vollkommen zufällige (und nicht-differenzierbare) Kurve – zum Modell der Bewegung feindlicher Flugzeuge. Folgerichtig liefert der *predictor* auch dann die besten Ergebnisse, wenn die verfolgte Kurve sich einer „willkürlichen Funktion“ nähert – einer Funktion, die ausschließlich aus freien Entscheidungen besteht und die damit ein maximales Maß an Information enthält.¹⁸⁰

Galisons Feststellung, dass der Krieg die „rein wissenschaftlichen“ Fragen vom Tisch fegte, könnte man angesichts des Scheiterns und der Vorgeschichte des Projektes genauso gut umgekehrt formulieren: Der Krieg gab Wiener Gelegenheit, rein wissenschaftliche Fragen in ein (zumindest militärisch) nutzloses Artefakt zu überführen – und bei aller Arbeit am speziellen *anti-aircraft problem* immer die allgemeinen Grundlagen im Blick zu behalten: „Wiener was well aware of the generality of the work he was doing.“¹⁸¹

Als das Buch „Cybernetics“ 1948 erscheint, kann Wiener genau die Vorgeschichte voraussetzen, die er verschweigt. Der Paradigmenwechsel hin zur klassischen Regelungstechnik ist abgeschlossen, der Einsatz von Feedback etabliert und für zahlreiche Ingenieure und Wissenschaftler ist sowohl die Anwendung dieser Regelungstechnik auf menschliche *operator*, als auch umgekehrt die Beschreibung menschlichen Verhaltens als Feedbackprozess, eine Selbstverständlichkeit. Wenn Wiener darüber hinaus die Vereinigung von Regelungs- und Nachrichtentechnik als „control and communication“ ausruft, beruft er sich zwar ebenfalls auf die eigene Erfahrung: „On the communication engineering plane, it had already become clear to Mr. Bigelow and myself that the problems of control engineering and communications engineering were inseparable.“¹⁸² Er reformuliert damit aber, was spätestens seit 1934 als Folge der klassischen Regelungstechnik klar zu werden begann, und was seit spätestens 1935 Firmenphilosophie von AT&T war.

Seine Leistung besteht vor diesem Hintergrund vor allem darin, den Paradigmenwechsel zur klassischen Regelungstechnik zu der „epistemischen Erschütterung“ zu radikalisieren, auf die Pias verweist. Der *Anti-Aircraft Predictor* spielt dafür eine ganz ähnliche Rolle wie der Fall Kinnebrook für die frühe Experimentalpsychologie: Er liefert den *standard account* der Geschichte einer Kybernetik, die aus den Anforderungen des Zweiten Weltkriegs geboren wurde und illustriert zugleich sowohl ihre Fähigkeit die Grenze von Lebewesen und Maschine tatsächlich zu transzendieren, als auch ganz profan ihre praktische Anwendbarkeit. Zwar ist die „Ontologie des Feindes“ und ihr „mechanisiertes feindliches Gegenüber“ tatsächlich in die Geschichte der Kybernetik eingeschrieben. Der *Anti-Aircraft Predictor* ist aber vor allem ein Symbol für das Versprechen, negatives Feed-

180 Roch und Siegert, »Maschinen, die Maschinen verfolgen: über Claude E. Shannons und Norbert Wieners Flugabwehrsysteme«, S. 225-226.

181 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 176.

182 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 8.

back könne einfach alles unter Kontrolle bringen. „Symbole sind wirkmächtig“¹⁸³ bemerkt Galison selbst, während es bei Kuhn heißt: „Der Erfolg eines Paradigmas [...] ist am Anfang weitgehend eine Verheißung von Erfolg, die in ausgesuchten und noch unvollständigen Beispielen liegt.“¹⁸⁴

2.4.3 *Purpose (tremor)*

Neben dem Verweis auf den *Anti-Aircraft Predictor* versteht Wiener es, mit der Kybernetik noch auf andere Arten zu radikalieren, was der Paradigmenwechsel in der Regelungstechnik vorbereitet hatte: Erstens liefert er wiederholt Argumente für einen Zusammenhang von Kybernetik und Biologie und zweitens bezieht er die Kybernetik erfolgreich auf Fragen und Diskurse anerkannter wissenschaftlicher Relevanz.

Letzteres spiegelt sich schon in der historischen Verankerung der Kybernetik wieder, die Wiener selbst vornimmt: Bei ihm bildet nicht die zeitgenössische Regelungstechnik ihren Anker, sondern die Industrialisierung des 19ten Jahrhunderts. Der Fliehkraftregler in Dampfmaschinen ist das seit Wiener kanonische Beispiel für den Einsatz von negativem Feedback.¹⁸⁵ Die Relevanz der Kybernetik ist damit eindeutig markiert: Nicht nur, dass ihre Genealogie so die industrielle Revolution einschließt, auch ist sie hiernach mit den klangvollen Namen James Watt und Clerk Maxwell verbunden. Während Watt als Erfinder des Fliehkraftreglers für Dampfmaschinen gilt¹⁸⁶, hat Maxwell die erste theoretische Arbeit zu Fliehkraftreglern veröffentlicht – unter dem Titel „On Governors“. Aus diesem Titel kann sogar der Begriff „Kybernetik“ Legitimation ziehen, greift er doch, so Wiener, die griechische Wurzel des Wortes „governor“ auf.¹⁸⁷ Mit dem Rückgriff auf die griechische Wurzel erweitert Wiener die Genealogie der Kybernetik zugleich hin zur Wiege der westlichen Kultur selbst. Flugabwehr und Dampfmaschine (und nicht etwa Telefone, Analogrechner oder Windmühlen) bleiben bis heute die zentralen Beispiele der Kybernetik.

Mit dem Bezug auf Maxwell ist die Kybernetik, wie schon die frühe Experimentalpsychologie, unmittelbar an die Leitwissenschaft Physik angeschlossen und kann auch auf dieser Ebene die Grenzen einer Ingenieurwissenschaft überschreiten. Wiener unterstützt diesen Ge-

183 Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 319.

184 Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, S. 37–38.

185 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 11.

186 Tatsächlich war Watt nicht Erfinder des Fliehkraftreglers. Er gehörte lediglich zu den ersten, die den Mechanismus für den Gleichlauf von Dampfmaschinen einsetzten. Vergleiche hierzu Henn, »Materialien zur Vorgeschichte der Kybernetik«, S. 168.

187 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 11–12.

danken wiederholt durch Verweise auf Meteorologie und Astronomie oder den Zusammenhang des Informationsbegriffs mit der Thermodynamik.¹⁸⁸ Die Rhetorik einer Kybernetik als kosmische *theory of everything* entstammt so ebenfalls direkt dem *Wienerian account*.

Der Zusammenhang von Biologie und Kybernetik scheint rückblickend absolut naheliegend, wenn nicht gar zwingend. Insbesondere in Deutschland bereiten Wissenschaftler wie Felix Lincke und Hermann Schmidt im neunzehnten und frühen zwanzigsten Jahrhundert mit ihrer Arbeit zu biologischen Regelungsprozessen die Kybernetik vor.¹⁸⁹ Die Auseinandersetzung mit der Herstellung von Gleichgewicht und Stabilität in biologischen Systemen ist aber insgesamt im neunzehnten Jahrhundert keine Seltenheit. Sie beginnt spätestens mit den „ersten genauen physiologischen Untersuchungen über Gleichgewichtszustände“¹⁹⁰ durch Claude Bernard, nach denen er ab 1854¹⁹¹ den Prozess der Aufrechterhaltung eines stabilen „milieu interieur“ als einen Prozess beschreibt, der „die Veränderungen in der Umwelt in jedem Augenblick kompensiert“¹⁹². Sie setzt sich bis nach der Begründung der Kybernetik fort.¹⁹³

Wiener allerdings wählt eine argumentative Rückbindung der Kybernetik an die Biologie, die wieder direkt aus seiner Arbeit in der Regelungstechnik folgt. Bei aller Prominenz, die er dem *Anti-Aircraft Predictor* in der Einleitung des Buches einräumt, stellt er nicht ihn, sondern seine langjährige Freundschaft mit dem Mediziner Arturo Rosenblueth an dessen Anfang. Er widmet ihm das Buch und beginnt die Einleitung mit den Worten: „This book represents the outcome, after more than a decade, of a program of work undertaken jointly with Dr. Arturo Rosenblueth“¹⁹⁴. Rosenblueth hatte bis 1944 regelmäßige Abendessen an der *Harvard Medical School* organisiert, bei denen Wiener ihn kennenlernte und bei denen Vertreter unterschiedlicher Disziplinen wissenschaftliche Fragestellungen diskutierten.¹⁹⁵ Neben der Wirkung einzelner dort diskutierter Ideen finden sich diese Zusammenkünfte nach dem Krieg wohl im universellen und interdisziplinären Anspruch der Kybernetik genau so wieder, wie im Format der berühmten Macy-Konferenzen – interdisziplinäre Tagungen, die den zentralen Nexus der frühen Kybernetik bilden sollten.¹⁹⁶ Als Wiener 1942 am *Anti-Aircraft Predictor* arbeitet, bittet er die *fire control division*

188 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 30-44.

189 Henn, »Materialien zur Vorgeschichte der Kybernetik«, S. 180.

190 Ebd., S. 174.

191 Charles E. Gross. »Claude Bernard and the internal environment«. In: *The Neuroscientist* (1998), S. 380-385, S. 383.

192 Zitiert nach Henn, »Materialien zur Vorgeschichte der Kybernetik«, S. 174.

193 Vergleiche ebd., S. 170-188.

194 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 1.

195 Ebd., S. 1-2.

196 Claus Pias, Hrsg. *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume I*. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2003, Claus Pias, Hrsg. *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume II*. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2004.

um Erlaubnis, die geheime Forschung mit seinem Freund diskutieren zu dürfen.¹⁹⁷ Rosenblueth hatte zuvor mit Walter Cannon zusammengearbeitet, der mit dem Prinzip der Homöostase genau den regelnden Feedbackmechanismus in der Biologie formuliert hatte, auf den bereits die Idee eines konstanten *milieu interieur* hinausläuft.¹⁹⁸

Sein Verweis auf die Zusammenarbeit mit Rosenblueth dient Wiener aber gerade nicht als Brücke zu der hier angedeuteten vorangegangenen Beschäftigung mit Feedback in der Biologie. Zwar weist er auf den Kontakt zu Cannon wiederholt hin¹⁹⁹, allerdings steht er scheinbar zu sehr unter dem Einfluss des Paradigmenwechsels in der Regelungstechnik, um Homöostase zum zentralen Argument ihrer Entgrenzung auf Lebewesen zu machen. Homöostase in biologischen Organismen ist für Wiener lediglich ein Spezialfall negativen Feedbacks, der zwar diskutiert werden, aber nicht zwangsläufig Teil einer Einführung in die Kybernetik sein müsse.²⁰⁰

Das zentrale Argument für die Universalität des Prinzips Feedback folgt stattdessen direkt der klassischen Regelungstechnik. Erstmals wird es von Wiener, Rosenblueth und Bigelow in dem Text „Behavior, Purpose and Teleology“²⁰¹ entwickelt – und ohne Verweis auf die Arbeit am *Anti-Aircraft Predictor* veröffentlicht, da diese zu diesem Zeitpunkt noch geheim ist. Die Autoren reformulieren hier die Begriffe „Zweck“ (*purpose*) und „Zielgerichtetheit“ (*teleology*) im Sinne einer „behavioristic study of natural events“²⁰², die zielgerichtetes Verhalten als Feedbackmechanismus beschreibt.

Dieser Behaviorismus teilt mit seinem Namens- und Zeitgenossen in der Psychologie – dem Neobehaviorismus, wie er zum Beispiel von Burrhus Frederic Skinner vertreten wird und der im Kapitel 6 noch eingehender diskutiert werden wird – die Ausblendung (nicht beobachtbarer) interner Strukturen und Prozesse zu Gunsten der reinen Betrachtung beobachtbaren Verhaltens: „the behavioristic method of study omits the specific structure and the intrinsic organization of the object“²⁰³. Er entstammt aber auch direkt der klassischen Regelungstechnik, für die Hazen 1934 den Begriff des Servomechanismus definiert hatte als „a power-amplifying device in which the amplifier element driving the output is actuated by the difference between the input to the servo and its output.“²⁰⁴ Womit, wie wir gesehen haben,

197 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 181.

198 Walter Bradford Cannon. *The Wisdom of the Body*. New York: W.W. Norton & Company, 1932.

199 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 1, 17.

200 Ebd., S. 115.

201 Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener und Julian Bigelow. »Behavior, Purpose and Teleology«. In: *Philosophy of Science* 10 (1943), S. 18–24.

202 Ebd., S. 18.

203 Ebd. Zum Zusammenhang und Unterschied von Kybernetik und Behaviorismus vergleiche 6.1.4.

204 Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 108.

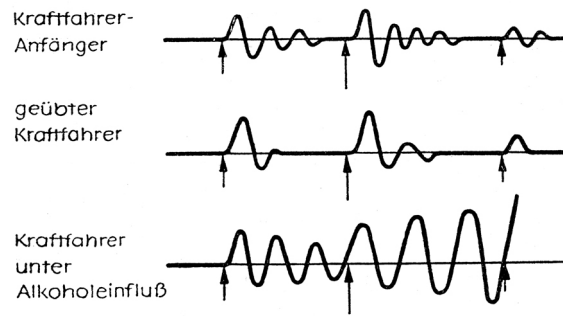


Abbildung 13: *Hunting* beim Autofahren: „Veränderung der Regelgröße »gerade Richtung« unter dem Einfluß von Störimpulsen.“ (aus Georg Klaus und Heinz Liebscher. *Was ist, was soll Kybernetik?* 2. Aufl. Leipzig, Jena und Berlin: Urania-Verlag, 1967, S. 39)

gilt: „An exact description of the behavior of the internal system dynamics is not needed for classical design; that is, only the input/output behavior of the system is of importance.“²⁰⁵

Die weitere Argumentation geht folgerichtig nicht auf Homöostase ein. Denn dies würde, wie Wiener an anderer Stelle anmerkt, genaue Kenntnis (interner) physiologischer Vorgänge voraussetzen.²⁰⁶ Sie folgt vielmehr dem regelungstechnischen Denkstil: Der Feedbackbegriff wird als Ingenieurbegriff in Deckung mit Hazens Definition von Servomechanismen eingeführt. „The term feed-back is also employed in a more restricted sense to signify that the behavior of an object is controlled by the margin of error at which the object stands at a given time with reference to a relatively specific goal.“²⁰⁷

Diese Form von Feedback bringt, wie wir ebenfalls gesehen haben, immer das Stabilitätsproblem mit sich – womit Servomechanismen solche Mechanismen sind, die in diesem Sinne instabil werden können. Servo- und damit Feedbacksysteme sind also Systeme, in denen es zu *hunting* oder *singing* kommen kann (Abbildung 13). Und genau (aber auch erst) hier kommt die Biologie ins Spiel. Folgt man dem *Wienerian account* fragen Wiener und Bigelow Rosenblueth nach einer menschlichen Entsprechung des *hunting* und bekommen von ihm ein passendes Krankheitsbild beschrieben.²⁰⁸ Wiener, Bigelow und Rosenblueth schreiben daraufhin:

Suppose, for example, that a machine is designed with the purpose of impinging upon a moving luminous goal; the path followed by the machine is controlled by the direction and intensity of the light from the goal. Suppose further that the machine overshoots seriously when it fol-

205 Lewis, »Applied Optimal Control and Estimation; Digital Design and Implementation«.

206 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 115.

207 Rosenblueth, Wiener und Bigelow, »Behavior, Purpose and Teleology«, S. 19.

208 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 8.

lows a movement of the goal in a certain direction; an even stronger stimulus will then be delivered which will turn the machine in the opposite direction. If that movement again overshoots a series of increasingly larger oscillations will ensue and the machine will miss the goal.

This picture of the consequences of undamped feedback is strikingly similar to that seen during the performance of a voluntary act by a cerebellar patient. At rest the subject exhibits no obvious motor disturbance. If he is asked to carry a glass of water from a table to his mouth, however, the hand carrying the glass will execute a series of oscillatory motions of increasing amplitude as the glass approaches his mouth, so that the water will spill and the purpose will not be fulfilled.²⁰⁹

Menschen können also nicht nur die gleichen Aufgaben wie Servomechanismen erfüllen. Wenn die Möglichkeit, instabiles Verhalten zu erzeugen hinreichende Bedingung für das Vorhandensein eines Servomechanismus ist, ist mit diesem Krankheitsbild der Schluss zulässig, dass Menschen Servos *sind*. Dieser Schluss wird hier auf sprachlicher Ebene durch die analoge Konstruktion beider Beschreibungen und vor allem durch ein Vokabular unterstützt, das die Bewegungen des Patienten mit „Oszillationen“ und „Amplituden“ beschreibt und damit in der Tradition der Anwendung regelungstechnischer Formalismen auf menschliche *operator* steht. Das „moving luminous goal“ verweist hier indirekt auf das frühe Computerspiel von Wiener und Bigelow und damit die (noch geheime) Forschung, im Zuge derer Wiener spätestens mit dieser Tradition in Berührung gekommen ist. Der „purpose“ am Anfang und Ende der Passage greift schließlich nicht nur den Titel und das zentrale Thema des gesamten Textes auf – wie wir von Wiener an anderer Stelle erfahren werden, lautet der Name des Krankheitsbildes im Zentrum der Argumentation „purpose tremor“²¹⁰.

Da der „purpose tremor“ Folge einer Schädigung des Kleinhirns ist, wird er auch als zerebellarer Tremor bezeichnet. Heute (und auch in Wieners späteren Schriften²¹¹) hat sich aber eher der Ausdruck Intentions- oder Aktionstremor durchgesetzt. Noch immer aber gilt er als Beleg eines Feedbackmechanismus.²¹² Wiener wird, wenn es

209 Rosenblueth, Wiener und Bigelow, »Behavior, Purpose and Teleology«, S. 20.

210 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 8.

211 Wiener, *I am a mathematician. The later life of a prodigy*, S. 253, Norbert Wiener. *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society*. New York, NY: Avon Books, 1967 [1950], S. 224.

212 Eric R. Kandel, James H. Schwartz und Thomas M. Jessell. *Principles of Neural Science, Fourth Edition*. New York, NY: McGraw-Hill, 2000, S. 849-850.

gilt, Parallelen von Lebewesen und feedbackgesteuerten Maschinen aufzuzeigen, wiederholt auf die Krankheit zurückkommen.²¹³

2.4.4 Zirkuläre Kausalität

Auch wenn die Kybernetik vor allem Vollendung eines Paradigmenwechsels ist, der ihr vorausgeht, stellt Wieners Radikalisierung des Einsatzes negativen Feedbacks doch eine wichtige Neuerung und „epistemische Erschütterung“ dar: „Die Erkenntnis, daß die Rückkopplung nicht nur einen technischen, sondern einen methodischen Ansatz darstellt, macht die neue Qualität der kybernetischen Denkweise aus.“²¹⁴ Und es ist alles andere als klar, ob diese neue Qualität ohne Wiener und seine geschickt konstruierte Entgrenzung regelungstechnischen Wissens jemals die disziplinären Grenzen in dem Maße überschritten – oder eher: gesprengt – hätte, wie die Kybernetik es vermochte. Wiener übernimmt für negatives Feedback eine Rolle, die wir in Kapitel 4 als „gatekeeper“ kennenlernen werden. Er gibt dem, was ohnehin passiert einem Namen und eine Geschichte und macht aus dem Denkstil der klassischen Regelungstechnik ein universelles Prinzip neuer Qualität.

Am eindrucklichsten deutlich wird die neue Qualität von Rückkopplung vielleicht, wenn man sich die Rolle von Kausalität in Feedbacksystemen anschaut: In dem Moment, in dem ein Flugzeug versucht, dem Flugabwehrfeuer auszuweichen, das es verfolgt und ihm vorauszuweichen versucht, wird die Flugbahn des Flugzeugs von beidem verursacht: dem System aus Pilot, *controls* und Flugphysik auf der einen Seite – und dem Flugabwehrsystem auf der anderen. Ähnliches gilt für den *electronic negative feedback amplifier*, dessen lineare Verstärkung Resultat seines eigenen Fehlers bei der Verstärkung ist. Technisch verstandene Selbstkorrektur ist also auch immer ein Selbst-Hervorbringen, bei dem sich kein eindeutiger Ursprung im Sinne einer linearen Kausalkette festhalten lässt.

Mit anderen Worten: In Feedbacksystemen wird Kausalität zirkulär. Die Macy-Konferenzen beginnen dementsprechend als Treffen zu „Circular-Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems“²¹⁵ und machen damit einerseits schon in ihrem Titel den Anspruch deutlich, dass Kybernetik nicht länger (ingenieurwissenschaftliche) Regelungstechnik sein möchte, andererseits, dass die

213 Neben den oben genannten Stellen zum Beispiel in Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 95-96, 107 oder Wiener, *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society*, S. 224.

214 Michael Friedewald. *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*. Berlin und Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1999, S. 76.

215 Heinz von Foerster. »Zirkuläre Kausalität. Die Anfänge einer Epistemologie der Verantwortung«. In: *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume I*. Hrsg. von Claus Pias. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2003, S. 19–26.

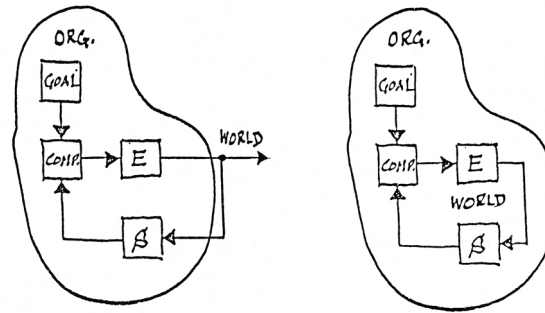


Abbildung 14: Kybernetisches System und (das Fehlen von) Umwelt (aus Heinz von Foerster. *KybernEthik*. Berlin: Merve, 1993, 99 und 101).

neue Qualität des kybernetischen Denkens in der zirkulären Organisation von Feedbacksystemen besteht: „Es scheint“, schreibt Heinz von Foerster zu einem Zeitpunkt, an dem Kybernetik längst wahlweise als Mathematik, Managementtheorie oder Anthropologie auftritt, „daß Kybernetik für die unterschiedlichsten Leute etwas ganz verschiedenes bedeutet. [...] Dennoch ergeben sich diese Perspektiven aus einem zentralen Thema, und zwar dem der Zirkularität.“²¹⁶

Dank ihr lassen sich offene Systeme in (im Sinne der Regelungstechnik) geschlossene verwandeln, womit Ursachen von Zielen determiniert werden und Anfangsbedingungen von Endbedingungen.²¹⁷ Wenn die Differenz von Ist und Soll das Verhalten eines Systems bestimmt, ist es unerheblich, wo dessen Ist begonnen hat, da sein stabiles Verhalten unabhängig davon auf das Soll hinausläuft – dies ist der Sachverhalt, auf den sich bereits Rosenblueth, Wiener und Bigelow mit dem Rückgriff auf *purpose* und *teleology* beziehen.

Die Geschlossenheit hat aber auch zur Folge, dass sich das Verhältnis von Subjekt und Objekt oder Umwelt neu bestimmen lässt (vergleiche Abbildung 14). „Und zwar, weil selbst die elementarsten Modelle eines Signalflusses in einem kybernetischen System eine (motorische) Interpretation eines (sensorischen) Signals bedürfen.“²¹⁸ Das kybernetische System schließt seine Umwelt mit ein. Wie in Reproduktion der Radikalisierung der Kybernetik durch Wiener bezeichnet von Foerster das kybernetische System in der Folge zunächst als „Maschine, Organismus“ und dann nur noch als „Organismus“ – er schreibt:

Zweifellos wird jedoch nur einer außenstehenden Person, die diesen Organismus beobachtet, der Eindruck vermittelt, als ob dieser auf eine äußere Welt einwirkt. Ande-

²¹⁶ von Foerster, *KybernEthik*, S. 63.

²¹⁷ Heinz von Foerster. »Kybernetik einer Erkenntnistheorie«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1973], S. 51–76, S. 51.

²¹⁸ von Foerster, *KybernEthik*, S. 99.

rerseits hat der Organismus selbst keine Möglichkeit »aus sich« herauszutreten: das einzige, was er »weiß«, sind die Wahrnehmungswechsel, die er teilweise durch seine eigenen motorischen Aktivitäten kontrollieren kann. In anderen Worten, für den Organismus ist es prinzipiell unmöglich zu entscheiden, ob die Schleife, die den Effektor mit dem Sensor verbindet, innerhalb oder außerhalb seiner selbst liegt.²¹⁹

Diese Darstellung ist natürlich dem regelungstechnischen Denkstil geschuldet, für den Sensor und Effektor Gegenstände der eigenen Arbeit sind, nicht aber die zu kontrollierende Umwelt – die hier dementsprechend nicht als eigener Block auftaucht. Nichtsdestotrotz gilt aber, dass diese Umwelt durchaus auch ihre eigenen Widerstände in das Verhältnis von Sensor und Effektor oder In- und Output einbringt, und dass darüber hinaus die Eingrenzung in S und E und ihre Abgrenzung voneinander, wie auch von einer eventuell vorhandenen Umwelt, eine willkürliche Zuschreibung darstellen. Trotzdem macht dieses Bild aber klar, dass der erfolgreiche Umgang mit einer Umwelt aus Sicht einer Maschine oder eines Organismus immer auf das In-Beziehung-Setzen von Handlungen (E) und Veränderungen der Wahrnehmung (S) hinausläuft.

Es fällt nicht schwer, in diesem Bild eine diagrammatische Kurzfassung des Konstruktivismus zu sehen. Und tatsächlich spricht einiges dafür, dass bereits die frühe Kybernetik die entscheidenden Komponenten der Disziplinen und Strömungen in Wissenschaft und Philosophie in sich trägt, in die sie diffundieren wird.²²⁰ Zwar nimmt die frühe Kybernetik für ihre Systeme die Existenz von Zielen an, die sich aus einer Perspektive externer Beobachtung heraus beschreiben und im System repräsentiert finden lassen.²²¹ In der regelungstechnischen Schließung wird zugleich aber erstens die Idee der Selbstorganisation und zweitens das Verhältnis von System und seiner Beobachtung von Beginn an problematisiert.²²² Diese Problematisierung manifestiert sich interessanterweise an einem technischen Ding: Ross Ashby präsentiert der vorletzten aller Macy-Konferenzen mit dem berühmten „Homeostat“ ein Artefakt, das die zirkuläre Verschaltung von Organismus und Umwelt ernst nimmt und als geschlossenes System modelliert.²²³ Das Homeostat scheint sich dabei selbst zu zielgerich-

²¹⁹ von Foerster, *KybernEthik*, S. 100.

²²⁰ Vergleiche hierzu auch Wolfgang Coy. »Zum Streit der Fakultäten. Kybernetik und Informatik als wissenschaftliche Disziplinen«. In: *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume II*. Hrsg. von Claus Pias. Bd. 2. Berlin: diaphanes, 2004.

²²¹ Froese, »From Cybernetics to Second-Order Cybernetics?: A Comparative Analysis of Their Central Ideas«, S. 77-78.

²²² Ebd., S. 79.

²²³ Zum „Ashby Case“ vergleiche Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, S. 148-155, zum Homeostat vergleiche auch Pickering, *Kybernetik und neue Ontologien*, S. 140-146.

tetem Verhalten zu organisieren. Ashby zeigt aber, dass die Selbstorganisation, die solchem Verhalten innezuwohnen scheint, Eigenschaft des Verhältnisses von Beobachter und beobachteten Systems ist.²²⁴ Später wird er festhalten:

It follows that a substantial part of the theory of organization will be concerned with *properties that are not intrinsic to the thing but are relational properties between observer and thing*.²²⁵

Als Antwort auf diese „Krise“²²⁶ hat in der Folge die „Kybernetik zweiter Ordnung“ als „Kybernetik der Kybernetik“ versucht, die Kybernetik von einer Theorie externer Beobachtung (erster Ordnung) zu einer Theorie zu erweitern, die die Beobachtung einschließt. Verwandte Ansätze finden sich in der „kognitiven Biologie“ in der Folge von Humberto Maturana und Francisco Varela, dem Konstruktivismus oder der soziologischen Systemtheorie. Grundlage dieser Entwicklungen bilden aber die „elementarsten Modelle eines Signalfusses in einem kybernetischen System“ und damit bereits die frühe Kybernetik (erster Ordnung): „[...] cybernetics already harbored the tendencies that only found their fuller expression within the second-order approach.“²²⁷

Mit der Kybernetik wird die Frage, wer in einem Rückkopplungssystem handelt, von Anfang an problematisch: Wenn das stabile Verhalten eines Systems Resultat seiner zirkulären Struktur alleine ist, lässt sich für dieses System das Konzept einer autonomen Handlungsmacht oder „agency“ nicht aufrechterhalten. Der Nachhall dieser Erkenntnis findet sich bis heute nicht nur im „second-order approach“ wieder, sondern auch in Ansätzen wie der Akteur-Netzwerk-Theorie oder Philosophien eines „New Materialism“ (um nur zwei Beispiele zu nennen), die das Primat menschlicher *agency* und des handelnden Subjekts insgesamt in Frage stellen.²²⁸ Den Bezug solcher Ansätze zur Kybernetik macht der Wissenschaftshistoriker Andrew Pickering explizit, wenn er seine Auseinandersetzung mit dem „Tanz [...] menschlicher und nicht-menschlicher Wirkungsmacht“ im Sinne einer „dezentrierte[n] Perspektive, die sich mit *Handeln, Aktion (agency) befasst* [...] und mit dem emergenten Wechselspiel zwischen menschlichen und materiellen Handlungsträgern“²²⁹ ausdrücklich als Auseinandersetzung

224 Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, S. 151.

225 Zitiert nach Froese, »From Cybernetics to Second-Order Cybernetics?: A Comparative Analysis of Their Central Ideas«, S. 79, Hervorhebung im Original.

226 Ebd., S. 77.

227 Ebd.

228 Vergleiche hierzu die Bemerkungen Pickerings zu performativer und verkörperter Wissenschaft in Pickering, *Kybernetik und neue Ontologien*, S. 90.

229 Ebd., S. 90, Hervorhebungen im Original.

mit der Kybernetik kennzeichnet.²³⁰ Denn „cybernetics provided the formal means for conceiving the category of *subjectless processes*.“²³¹

In der Folge sollen hier gerade die Problematisierungen durch die frühe Kybernetik eine Rolle spielen, die nicht nur die Voraussetzungen einer Kybernetik zweiter Ordnung von Anfang an in sich tragen, sondern die auch zu einem Verstehen von dem beitragen können, was heute „Mensch-Computer-Interaktion“ oder „Human-Computer Interaction“ genannt wird. Diese Argumentation wird also in Richtung einer Sicht auf Interaktion verlaufen, die ernst nimmt, dass auch und insbesondere für den computerbedienenden Organismus gilt „das einzige, was er »weiß«, sind die Wahrnehmungswechsel, die er teilweise durch seine eigenen motorischen Aktivitäten kontrollieren kann.“ Bevor dies geschieht, gilt es aber zunächst die maschinelle Voraussetzung von Interaktion ab dem Moment zu klären, in dem sie aufhört Kybernetik zu sein.

²³⁰ Pickering, *Kybernetik und neue Ontologien*, S. 91.

²³¹ Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, 156, Hervorhebung im Original.

TRYING TO BE CAKE

Das Projekt, am *Servomechanisms Lab* des MIT einen analogen Flugsimulator namens ASCA zu bauen, fällt in eine Zeit, in der die Konstruktion universeller digitaler Maschinen möglich wird. Der ASCA wird daraufhin auf digitales Rechnen umgestellt und Whirlwind getauft. Große Erfolge beim Bau dieses ersten Echtzeit-Digitalrechners aller Zeiten können aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass das was hier entsteht kein Flugsimulator mehr ist. Weil Cockpit und Controls eines analogen ASCA nicht mit dem digitalen Whirlwind kompatibel sind, werden beide entsorgt und es entsteht ein Rechner ohne Anwendung. In dieser „Krise“ des Projektes wird aus Whirlwind schließlich SAGE, ein System zur Flugabwehr. Diese Geschichte steht symptomatisch für einen Übergang, bei dem eine neue Rechentechnik die Aufgaben analogen Rechnens übernimmt, Sichtbarkeit und Bedienbarkeit dieses Rechnens aber verloren gehen. Whirlwind beginnt deren Wiederherstellung durch (a) die symbolische Darstellung digitaler Daten auf Kathodenstrahlröhren und (b) die Einführung eines neuen Prinzips in die noch junge Informatik: Der Rechner kann beim Rechnen unterbrochen und daher mit seiner Umwelt rückgekoppelt werden. Mit Whirlwind entsteht daher ein neuer Maschinentyp, der einerseits das Prinzip der Regelung durch Feedback aus der Kybernetik übernimmt, andererseits in der Tradition einer formalen Mathematik „symbolischer Maschinen“ steht. Dieser neue Maschinentyp wird als Feedbackmaschine bezeichnet.

3.1 VOM ASCA ZU WHIRLWIND

3.1.1 ASCA

Wie die Kybernetik ist auch das Projekt *Aircraft Stability and Control Analyzer* ein Kind der *feedback culture*: Seine Entwicklung soll explizit an die Forschung am *Electrical Engineering Department* anschließen und die „design tradition of the electromechanical differential analyzer“¹ fortsetzen. Nachdem der *Differential Analyzer* nicht länger nur zur Lösung von Netzwerkgleichungen eingesetzt wurde, war er weltweit als „general purpose machine“ rezipiert worden². Er wird damit zum direkten Vorbild des „generalized trainer“ für die Flugsimulation. Die beteiligten Ingenieure stellen sich den ASCA daher tatsächlich als eine Art *Differential Analyzer* vor, der um die Anzeigen und *controls* eines Cockpits erweitert wurde. Kurz: das Labor plant

¹ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 32.

² Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 157-158.

„a cockpit or control cabin connected, somehow, to an analog computer.“³

Wie sein Vorbild beginnt der ASCA damit als Analogrechner im doppelten Sinn: Er soll ein Analogon zur Physik des Fliegens bilden und er berechnet diese Physik als messendes *instrument* im Sinne Hartrees. Seine Entwicklung macht anfangs rasche Fortschritte: „By 1944, Laboratory engineers had made dramatic progress in designing turret and gunfire controls, developing practical feedback circuits and mechanical and electric analog devices linked to powerful servomechanisms responsive to remote control.“⁴

Wie alle *instruments* des *Servomechanisms Lab* soll der ASCA die Aerodynamik eines simulierten Fluges als Regelkreis berechnen: Zwischen die Instrumente und *controls* würden dazu auf der einen Seite die Differenzialgleichungen der Aerodynamik als analoge mechanische und elektrische Feedback-Schleifen geschaltet, auf der anderen das menschliche Flugpersonal. Das Personal wäre Teil des Regelkreises und damit automatisch Teil der ausgeführten Berechnungen: Jede Änderung einer *control* würde den dynamischen Zustand des Modells ändern und auf die entsprechenden Instrumente zurück wirken. Modell und Darstellung fielen so zusammen, wie bei allen Analogrechnern wäre ihr Verhältnis indexikalisch.

Obwohl der ASCA also zweifellos ein enges Zusammenspiel von Mensch und Maschine realisieren soll, hält er noch nicht das Potential bereit, das kybernetische Verhältnis von Bediener und Maschine zu sprengen: Als Analogrechner würde er lediglich ein System bilden, dessen *operator* als „human being as a servo“ Teil der rückgekoppelten Dynamik sind, und damit keine grundsätzlich andere Rolle spielen, als die Bediener tatsächlicher Flugzeuge. Denn die haben es, wie etwa Wiener feststellt, ebenfalls mit analogem Feedback zu tun:

Der halb scherzhafte Aberglaube an den bösen Geist unter den Fliegern stammte wahrscheinlich, wie alles andere auch, daher, daß sie eine Maschine mit vielen eingebauten Rückkopplungsschleifen bedienten, die als freundlich oder feindlich interpretiert werden konnten. Die Flügel eines Flugzeugs sind zum Beispiel absichtlich so gebaut, daß sie das Flugzeug stabilisieren, und diese Stabilisierung, die ja eine Rückkopplung ist, kann leicht als eine Persönlichkeit empfunden werden, gegen die man sich stemmen muß, wenn das Flugzeug zu ungewöhnlichen Manövern gezwungen ist.⁵

³ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 32.

⁴ Kent C. Redmond und Thomas M. Smith. »Lessons from 'Project Whirlwind'«. In: *IEEE Spectrum* 15.10 (1977), S. 51–59, S. 51.

⁵ Zitiert nach Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 300.

Wie schon der *Anti-Aircraft Predictor* wird aber auch der ASCA niemals fertig gestellt werden. Stattdessen wird das Projekt einer vollständigen Umwälzung unterzogen. Erst dann wird statt eines Flugsimulators erstmals ein neuer Maschinentyp realisiert – ein Maschinentyp der das ermöglicht, was später Interaktion genannt werden wird.⁶

3.1.2 Whirlwind

Trotz der raschen Erfolge im Bau von Feedbackschleifen und *controls* stößt das Projekt bald auf massive Probleme. Diese entstehen vor allem aus den besonderen Anforderungen der Flugsimulation. Denn anders als das Berechnen von Gleichungen mit Rechnern wie dem *Differential Analyzer* ist Flugsimulation zeitkritisch im Bezug auf die Wahrnehmung des Bedienpersonals. Die *operator* der Flugsimulatoren sind nicht nur Servomechanismen und Teil der ausgeführten Berechnung, sondern auch Flugschüler. Der Feedback-Loop, in den sie eingebunden sind, muss daher dem „bösen Geist“ des Fliegens entsprechen und genau so unmittelbar wie die Flugphysik selbst reagieren: „You couldn’t say, »Well, I didn’t quite make it, I’ll run a little slower,« because there were people in the loop.“⁷ Der ASCA muss in „Echtzeit“ rechnen können.

Im formalen Modell des Fliegens, das der ASCA verwenden soll, identifiziert Forrester 1944 47 Gleichungen mit 53 Variablen, die alle zeitabhängig und damit für das Analogmodell, das sie implementieren soll, zeitkritisch sind.⁸ Die bekannten elektrischen und mechanischen Methoden der Differentialrechnung können diese Fülle an Berechnung in der Echtzeit ihrer Bediener aber nicht leisten und neue Methoden müssten entwickelt werden. Darüber hinaus verlangt die Flugsimulation ein Rechnen in einem weiten Spektrum möglicher Signale zwischen ruhigem Flug und heftigen (oder Wieners „ungewöhnlichen“) Manövern.⁹ Um entsprechend dynamisch skalieren zu können, hätte die existierende Rechentechnik ebenfalls zumindest angepasst werden müssen. Vor allem aber ist Forrester der Meinung, dass der ASCA nicht flexibel genug sei: Denn die (bedingt austauschbare) Flugphysik würde in diesem komplexen elektromechanischen

6 Zum Folgenden vergleiche auch Lasse Scherffig. »Trying to be Cake. Feedbackmaschinen oder: Interaktion als Wiederholen durch Unterbrechen«. In: *Off Topic* 3 (2011), S. 30–35, Lasse Scherffig. »(ping) pong. Feedback Machines between Computation and Control«. In: *World of the News*. Hrsg. von Christian Ulrik Andersen und Geoff Cox. Berlin und Aarhus: transmediale/reSource for transmedial culture und Digital Aesthetics Research Centre, 2012, S. 4–5, sowie Lasse Scherffig und Georg Troge-mann. »Über das Warten beim Rechnen – Synchronisationsstrategien in parallelen und interaktiven Systemen«. In: *Kulturtechniken der Synchronisation*. Hrsg. von Christian Kassung und Thomas Macho. München: Wilhelm Fink Verlag, 2013, S. 231–267.

7 Everett, »Whirlwind«, S. 366.

8 Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 16.

9 Ebd., S. 22.

System klassischer Regelungstechnik immer Flugphysik bleiben. „In consequence, the analog computer portion of the analyzer would be unavailable for use on other problems between simulation tests.“¹⁰ Der universelle Flugsimulator ist ihm nicht universell genug.

Die ersten beiden Probleme – die fehlende Rechengeschwindigkeit und die Probleme mit der dynamischen Skalierbarkeit der Berechnung – erweisen sich bis 1945 zwar als gravierend, hätten aber eine vollständige Neuausrichtung des Projektes, wie Everett festhält, wahrscheinlich nicht nötig gemacht: „We worked on it very hard, had we been forced to stick with it, we probably would have built something useful.“¹¹ Trotzdem liefern sie überzeugende Argumente, die eine solche Neuausrichtung legitimieren können. Und diese soll, so will es Forrester, vor allem im Sinne des dritten Problems sein.

Das Problem der fehlenden Universalität eines Analogrechners zur Flugsimulation trifft zu dieser Zeit auf veränderte Rahmenbedingungen militärischer Forschung: Der Krieg ist zu Ende, womit Raum entsteht, den Blick von den unmittelbaren Bedürfnissen der Kriegsforschung hin zu den zukünftigen Fragen der Nachkriegsordnung zu lenken. Und in dieser kommenden Ordnung spielt, so zeichnet sich ab, eine andere (Rechen-)Technik als das analoge Rechnen der klassischen Regelungstechnik eine entscheidende Rolle – eine Technik mit einem Versprechen radikaler Universalität.

Forrester spricht mit seinem ehemaligen Kommilitonen Perry O. Crawford, Jr., der unter anderem bei Bush studiert hatte und sich mit der Anwendung numerischer Verfahren auf das regelungstechnische Kernproblem der Verfolgung und Vorhersage eines veränderlichen Signals beschäftigt hat – Verfahren, die sich hervorragend zur Implementierung in diskret rechnenden Maschinen eignen.¹² Und natürlich erkennt er, dass diese Verfahren ebenso gut auf das regelungstechnische Problem der Flugsimulation anwendbar wären und dass sie, genügend Entwicklungszeit vorausgesetzt, die Probleme lösen könnten, die sich während der Entwicklung des ASCA ergeben hatten. Forrester und Crawford sprechen in der Folge wiederholt über die entstehenden Digitalrechner ENIAC und EDVAC und beide besuchen im Oktober 1944 die erste Konferenz zum digitalen Rechnen, die überhaupt stattfindet.¹³ Dabei zeichnet sich für Forrester ab, in welche Richtung die Entwicklung des ASCA gehen soll: „He liked what he saw, and the more he saw, the more he wanted to see.“¹⁴ Er verhandelt mit dem *Office of Research and Inventions* der Navy, dem die

¹⁰ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 25.

¹¹ Everett, »Whirlwind«, S. 366.

¹² Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 26-27. Auch Wiener hatte Gefallen am Einsatz numerischer Verfahren für das *anti-aircraft problem* gefunden. Sein diesbezüglicher Vorschlag war von Bush aber abgelehnt worden. Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 4.

¹³ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 33.

¹⁴ Ebd., S. 27.

Special Devices Division mittlerweile unterstellt ist¹⁵, und bekommt im Sommer 1946 schließlich den Auftrag, als neue Grundlage des geplanten Flugsimulators einen Digitalrechner zu bauen. Im selben Jahr beginnt Crawford bei der *Special Devices Division* zu arbeiten, wo er administrative Verantwortung für das Projekt und seinen neuen Kurs übernimmt. Mit dieser Neuausrichtung des Projektes wird der ASCA schließlich in *Whirlwind* umbenannt.¹⁶

3.2 SYMBOLISCHE MASCHINEN

Die Umstellung des Projektes auf digitales Rechnen bedeutet zwar einen radikalen Einschnitt, für die Mitarbeiter des Projektes ist dieser aber nicht unbedingt offensichtlich: Ein in Echtzeit regelnder Digitalrechner ist – wie sich noch zeigen wird – wirklich etwas radikal Neues, in ihm kommen aber Denkstile und Technologien zusammen, die zu dieser Zeit ohnehin im Konvergieren begriffen sind:¹⁷ Die der Ingenieurwissenschaften und der formalen Mathematik. „Computer codes sind Hybridobjekte. Die in den Rechnern operierenden Zeichen haben ihre Wurzeln sowohl in der Mathematik, als auch in der Elektrotechnik.“¹⁸

Ihre Konvergenz wird zu einem wesentlichen Teil von Entwicklungen in der Mathematik vorangetrieben. Hier hatte Alan Turing 1936 die Frage nach einer Lösung für das „Entscheidungsproblem“ mit einer Maschinenmetapher beantwortet.¹⁹ Ist das Entscheidungsproblem die von David Hilbert aufgeworfene Frage, ob ein allgemeines mechanisches (oder mit den Worten von Alonso Church: „effektives“²⁰) Verfahren zur Lösung mathematischer Fragen existieren kann, so besteht Turings Antwort darin, zunächst ein solches Verfahren zu beschreiben, um dann zu zeigen, dass die Mächtigkeit dieses Verfahrens an absolute (weil theoretische) Grenzen stoßen muss. Das Bild, das seiner Idee zugrunde liegt, ist das einer idealisierten Maschine: Die „Turingmaschine“ ist ein abstraktes Maschinenmodell, sie wird nicht durch einen Bauplan, sondern einen Formalismus beschrieben und könnte (viel Geduld vorausgesetzt) auch von einem Menschen

¹⁵ Ebd., S. 104.

¹⁶ Ebd., S. 43-44.

¹⁷ Ebd., S. 29.

¹⁸ Georg Trogemann. »Code und Material«. In: *Code und Material. Exkursionen ins Undingliche*. Wien und New York: Springer, 2010, S. 15-25, S. 18.

¹⁹ Zum Folgenden gibt es zahlreiche gute Einführungen. Zum Beispiel Joseph Weizenbaum. *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1977, S. 107-154, Roger Penrose. *Computerdenken: Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewusstsein und die Gesetze der Physik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1991, S. 28-71, Georg Trogemann und Jochen Viehoff. *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*. Wien und New York: Springer, 2005, S. 65-72.

²⁰ Alan M. Turing. »On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem«. In: *Proceedings of the London Mathematical Society* 2.42 (1936), S. 230-265, S. 231.

mit Stift und Papier verkörpert werden. Sie wird über eine begrenzte Menge diskreter Zustände beschrieben, die die Maschine annehmen kann. Weiter verfügt sie über ein (potentiell) unendlich langes Band, das in Felder unterteilt ist, die jeweils ein Symbol eines endlichen Alphabets enthalten können. Zu jedem Zeitpunkt kann jeweils eines dieser Felder von der Maschine „gelesen“ werden. Die „Konfiguration“ einer Turingmaschine besteht so aus ihrem internen Zustand und dem Symbol, das gerade gelesen wird. Ihr Verhalten bestimmt eine Übertragungsfunktion, die anhand dieser Konfiguration entscheidet, wie sich ihr Zustand verändert und was an Stelle des gelesenen Symbols auf das Band geschrieben werden soll. Zusätzlich kann das Feld des Bandes, von dem gerade gelesen wird, um einen Schritt nach links oder rechts verschoben werden: Turing hält fest „the configuration determines the possible behaviour of the machine“²¹ – wobei sich hier als wichtig erweisen wird, dass alle Teile einer Konfiguration (interne Zustände und Felder des Bandes) diskret sind und auch der Übergang von einer Konfiguration zur nächsten in diskreten Schritten erfolgt: Ein Symbol wird gelesen, ein Zustand umgeschaltet, ein Symbol geschrieben, das Band um ein Feld verschoben.

Turingmaschinen sind dank dieses Formalismus nicht nur in der Lage, Symbolfolgen (Eingaben) in andere Symbolfolgen (Ausgaben) zu transformieren. Sie können darüber hinaus auch die Art und Weise, wie diese Transformation erfolgt, selbst bestimmen – weil sie die Symbole auf dem Band schreiben können, von denen ihr weiteres Handeln abhängt. So wird es möglich, Turingmaschinen anzugeben, deren mechanisches Bearbeiten einer Symbolfolge auf dem Band als Rechenoperation gelesen werden kann: Stehen die Symbole auf dem Band zum Beispiel für zwei Zahlen, könnte eine Turingmaschine diese Zahlen lesen und ihre Summe oder ihr Produkt auf das Band schreiben, wobei dieses „Rechnen“ völlig mechanisch und ohne Rückgriff auf die Bedeutung der Symbole als Zahlen vorgenommen würde. Streng genommen kann man für jede berechenbare Funktion eine Turingmaschine angeben, die sie berechnet. Turingmaschinen, die genau eine Funktion berechnen, werden spezielle Turingmaschinen genannt.

Nun lässt sich aber auch die Übertragungsfunktion einer beliebigen Turingmaschine in einem Alphabet codieren – indem zum Beispiel alle möglichen Zustandsübergänge, Bewegungen des Bandes und Veränderungen von Symbolen auf dem Band als Zeichenfolgen codiert werden. Und es lässt sich eine Turingmaschine angeben, die solche Beschreibungen liest und die darauf stehenden Regeln befolgt – womit sie zur beschriebenen Turingmaschine wird: „If this machine \mathcal{U} is supplied with a tape on the beginning of which is written the S.D [standard description] of some computing machine \mathcal{M} , then \mathcal{U} will com-

²¹ Turing, »On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem«, S. 231.

pute the same sequence as \mathcal{M} .”²² Eine solche Turingmaschine wird universelle Turingmaschine genannt. Sie kann alle (speziellen, aber auch die universelle) Turingmaschinen verkörpern.

Dieses Konzept ist einerseits die Grundlage Turings Beweises für die Begrenztheit der Mächtigkeit mechanischer Verfahren, andererseits verspricht es aber natürlich auch die Möglichkeit, eine universelle Maschine tatsächlich bauen zu können. Bei Turing ist die Vorstellung eines mechanischen Verfahrens noch mit den im metaphorischen Sinne „mechanisch“ ausgeführten Tätigkeiten menschlicher „Rechner“ verknüpft. Er macht aber bereits klar, dass dieses „mechanische“ Rechnen mit Stift und Papier mit dem Rechnen in wirklicher Mechanik vergleichbar ist: „We may compare a man in the process of computing a real number to a machine“²³. Damit deutet sein Modell an, dass sich Maschinen bauen lassen, die alle lösbaren Probleme lösen können, soweit eine geeignete Beschreibung des Problems und des Lösungsverfahrens (in Form einer speziellen Turingmaschine) vorliegt. Der Begriff des „Algorithmus“ erhält damit eine mögliche Präzisierung als solche Beschreibung eines Lösungsverfahrens. Man kann also scheinbar tatsächliche Maschinen bauen, die (innerhalb des Rahmens einer limitierenden Physik) dem mathematischen Begriff der Berechenbarkeit selbst ziemlich nahe kommen. Der Begriff des „Rechners“ wird sich, wie wir wissen, damit entscheidend verschieben: vom menschlichen Rechner zum maschinellen „Computer“.

Entwickelt für eine Anwendung auf das „Entscheidungsproblem“ steht dieses Modell einer abstrakten universellen Maschine in der Tradition der Entwicklung einer formalisierten Mathematik. Nach Sybille Krämer ist die Geschichte der Formalisierung die Geschichte der Herausbildung von drei Bedingungen: Formale Systeme benötigen (a) eine symbolische Notation, sie müssen (b) schematisierbar und damit „mechanisch“ ausführbar und (c) interpretationsfrei, also ausschließlich innerhalb ihrer formalen Sprache von Bedeutung, sein.²⁴ Die Herausbildung „symbolischer Maschinen“²⁵, die diese Bedingungen erfüllen, erstreckt sich über die gesamte Geschichte der Mathematik und findet mit Turings Arbeit einen Höhepunkt.²⁶ Dabei ist die Entwicklung eines operativen Symbolgebrauchs von großer Bedeutung, bei dem sich die Zeichen auf dem Papier „verselbstständigen“²⁷, weil sie unabhängig von dem wofür sie stehen nach vorgeschriebenen Regeln ineinander überführt werden können.

²² Ebd., S. 241-242.

²³ Ebd., S. 231.

²⁴ Sybille Krämer. *Symbolische Maschinen*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1988, S. 1-2.

²⁵ Ebd.

²⁶ Vergleiche hierzu ebd., sowie Trogemann und Viehoff, *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, S. 65-72.

²⁷ Ebd., S. 42.

Zu dieser Geschichte zählen auch Rechenpraktiken und „Rezeptwissen“ ägyptischer und babylonischer Gelehrter²⁸ oder mittelalterlicher Rechenmeister²⁹ oder das Rechnen mit Abakus oder Rechensteinen – als Praktiken die bereits vor dem Bau rechnender Maschinen ein maschinenhaft-mechanisches Rechnen umsetzten. Die geistige Tätigkeit des Rechnens zeigt „in ihrer berechenbaren Formalisierung [...] ihre triviale Seite, die sie immer auch schon enthielt“³⁰. Als Turing eine Maschinenmetapher wählt macht er damit nur explizit, dass der Umgang mit Zahlen schon immer eines war: Technologie.

Einerseits gilt damit: „Technik und Mensch stehen sich nicht unvermittelt gegenüber, sondern die Technik, als menschliches Produkt, trägt *unsere* Denkstrukturen in sich.“³¹ Andererseits aber auch die Umkehrung dessen: „Das technische Denken ist ein Teil von uns.“³²

Bei den Ingenieuren fällt Turings Maschinenkonzept natürlich auf fruchtbaren Boden. Die Tatsache, dass Hartree 1946 ausgerechnet die Begriffe *instrument* und *machine* verwendet wird so als – absichtlicher oder unabsichtlicher – Verweis auf die Turingmaschine lesbar. Ein Bezug, der sich in der englischsprachigen Informatik weiter fortsetzt, wenn etwa die wichtigste wissenschaftliche Gesellschaft für Informatik bis heute den Namen *Association for Computing Machinery* (ACM) trägt. Allerdings begleitet die Konstruktion algebraischer und logischer Maschinen ohnehin bereits die gesamte Geschichte der Formalisierung: Berühmt sind die Rechenmaschinen von Pascal und Leibniz oder die „Analytical Engine“ von Charles Babbage. Letztere hätte sogar bereits 1838 die volle Mächtigkeit einer Turingmaschine erreicht, wäre ihre Fertigstellung nicht an mechanischen Problemen gescheitert.³³

Jetzt aber steht die Regelungstechnik an einem Punkt, an dem ihr Regeln zunehmend Rechnen geworden ist, an dem dieses Rechnen eine weitgehende Abstraktion der Zahlen von ihrem Material vollzogen hat und an dem Energie zu Signalen und diese zu Trägern von Information geworden sind. Das Feld ist daher offen wie nie für den konkreten Bau abstrakter Maschinen. Das Projekt, symbolische Maschinen als reale Apparate zu konstruieren, ist so ebenso Höhepunkt und Konsequenz der Abstraktion von Funktion und Material in der

28 Krämer, *Symbolische Maschinen*, S. 20.

29 Trogemann und Viehoff, *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, S. 65.

30 Frieder Nake. »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«. In: *Die erträgliche Leichtigkeit der Zeichen. Ästhetik, Semiotik, Informatik*. Hrsg. von Frieder Nake. Baden-Baden: agis, 1993, S. 165–190, S. 172.

31 Arno Bammé u. a. *Maschinen-Menschen, Mensch-Maschinen. Grundrisse sozialer Beziehungen*. Reinbek: Rowohlt, 1983, S. 110, Hervorhebung im Original.

32 Ebd., S. 111.

33 Babbage nimmt in seinen Entwürfen darüber hinaus entscheidende Eigenschaften der von Neumann-Architektur vorweg. Vergleiche Allan G. Bromley. »Charles Babbage's Analytical Engine«. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 20.4 (1998), S. 29/45.

klassischen Regelungstechnik, wie es in der Tradition der theoretischen Mathematik, der Rechen- und Logikmaschinen oder der Praktiken des „mechanischen“ Rechnens menschlicher Rechner steht. Auch die kapitalistische Rationalisierung der Fabrikarbeit kann als ein Vorbereiten dieses Projektes gelesen werden.³⁴ Insgesamt ist es zur Zeit der Entwicklung des ASCA an verschiedenen Orten im vollen Gange.³⁵ Ganz abgesehen davon wird es dank elektrischer Schaltungen und dem Einsatz von Feedback in der Regelungstechnik, anders als zur Zeit Babbages, jetzt auch schlicht und einfach technisch möglich. Die abstrakte Turingmaschine ist so als „Realabstraktion“ lesbar, weil „der »neue« Maschinenbegriff keine bloße Erfindung ist, sondern genau dem entspricht, was in der gesellschaftlichen Realität *real* vor sich geht“³⁶.

3.3 TAIL AND DOG

Für die Laborpraxis im *Servomechanisms Laboratory* bedeutet die Umstellung auf digitales Rechnen zunächst, dass sich die epistemischen und technischen Dinge, mit denen gearbeitet wird, nicht grundsätzlich ändern müssen. Ingenieure wie Forrester sind mit den numerischen Verfahren digitalen Rechnens ohnehin vertraut, und ihre sich abzeichnende Materialität ist ihnen ebenfalls nicht fremd: „And if the *arrangement* of some of the electrical components that Crawford called to his attention was novel, the tubes, capacitors, resistors and elemental circuits were familiar features that offered no trouble.“³⁷

Und so beginnt das Team am *Servomechanisms Lab* sich intensiv mit dem neuen Arrangement bekannter Elemente zu beschäftigen. Hier setzt sich das Denken in „building blocks“ und „systems of elements“ fort, das die klassische Regelungstechnik kennzeichnet: „Just as bricks could be used to build a wall, so could elementary circuit designs be repeated to build a computer.“³⁸ Es verbindet sich jetzt aber mit dem Entwerfen abstrakter Maschinen als Abfolge einfacher elementarer Operationen, das symbolische Maschinen ausmacht. Dieser Computer würde aus vertrauten Bauteilen bestehen und wäh-

34 Nake, »Das algorithmische Zeichen und die Maschine«. Vergleiche auch Bammé u. a., *Maschinen-Menschen, Mensch-Maschinen. Grundrisse sozialer Beziehungen*, S. 115-116. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass bereits Babbage neben der Entwicklung von Rechenmaschinen auch zur Rationalisierung von Arbeitsabläufen durch ihr Zerlegen in elementare Operationen gearbeitet hatte. Charles Babbage. *On the Economy of Machinery and Manufactures*. London: Charles Knight, 1832.

35 Durchaus auch ohne, dass die Beteiligten zwangsläufig wissen, dass sie an einer universellen Maschine arbeiten. Trogemann und Viehoff, *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, S. 249.

36 Bammé u. a., *Maschinen-Menschen, Mensch-Maschinen. Grundrisse sozialer Beziehungen*, S. 113, Hervorhebung im Original.

37 Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 23, Hervorhebung im Original.

38 Ebd., S. 37.

rend sich im analogen Rechnen zwar die Signale von ihrem Material emanzipieren, versprechen die digitalen Bausteine jetzt die Radikalisierung dessen: Einmal in den Griff bekommen, würden die physischen Widerstände des Materials vollständig zu vernachlässigen sein und das Rechnen nicht mehr in seiner Exaktheit, sondern lediglich in seiner Auflösung beschränkt – wobei dieses Limit jederzeit durch die Konstruktion besserer Bausteine hinausgeschoben werden könnte. Die Probleme der Rechengeschwindigkeit und der Varianz möglicher Ergebnisse würden so zu Problemen der Konstruktion schneller *bricks* ausreichender Auflösung – beides Probleme die praktisch lösbar scheinen. Vor allem versprechen die Bausteine aber, dass sie im Sinne der Turingmaschine alles berechnen können. Der Flugsimulator würde universelle Maschine und nutzbar „for many problems other than aircraft analysis“³⁹.

Forrester plant die Systemarchitektur dieses Digitalrechners als „von Neumann-Architektur“. Die Ausformulierung dieser bis heute in ihren Grundzügen gültigen Architektur von Digitalrechnern zirkuliert seit Sommer 1945 als unveröffentlichtes Dokument im Kreis derjenigen, die sich in Großbritannien und den USA für die neuen digitalen Technologien interessieren⁴⁰. Getreu dieses Entwurfs soll *Whirlwind* Module für Input, Output und Speicher bekommen, dazu kommen eine zentrale Kontrolleinheit und ein Modul für Arithmetik.⁴¹

Obwohl verschiedene andere akademische Institutionen ebenfalls an digitalen *machines* arbeiten, muss deren Technik für die Anforderungen der Flugsimulation nicht unerheblich weiterentwickelt werden: Denn auch für einen Computer aus digitalen *bricks* sind die Anforderungen eines Rechnens in „Echtzeit“ das entscheidende Problem. Der Stand der Technik ist hier paradoxerweise eher noch weniger entwickelt als in der analogen Rechentechnik. Während analoges Rechnen schon lange im Dienst von *control and communication* steht, die oftmals in Echtzeit ablaufen müssen, soll *Whirlwind* der erste Echtzeit-Digitalrechner überhaupt werden.

Inmitten des dafür nötigen „pushing the state of the art“⁴² glauben die Entwickler weiter, sie würden einen Flugsimulator bauen. Dass das vielleicht längst nicht mehr so ist, geht in der alltäglichen Arbeit

39 Forrester zitiert nach Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 37.

40 Die Überlegungen in diesem Dokument stammen von verschiedenen Wissenschaftlern und Ingenieuren, der Text zirkuliert aber ausschließlich unter dem Namen von Neumanns. John von Neumann. *First Draft of a Report on the EDVAC*. Contract No. W-670-ORD-4926 Between the United States Army Ordnance Department and the University of Pennsylvania, Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania. 1945.

41 Entsprechend den Modulen CA, CC, M, I und O in der von Neumann-Architektur. Vergleiche Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 34 und Neumann, *First Draft of a Report on the EDVAC*.

42 Everett, »Whirlwind«, S. 57.

unter: „its engineers were too busy with immediate technical challenges to pay much attention to larger affairs“⁴³ – obwohl sich bereits abzeichnet, dass der universelle Flugsimulator vor allem eines werden wird: universell. Das wiederum ist mit für die Probleme verantwortlich, hinter denen das große Ganze zu verschwinden droht. „WW’s [Whirlwinds] control has been complicated by the decision to keep it completely flexible.“⁴⁴ Und so verschiebt sich mehr oder weniger unbemerkt das, worum es im Projekt *Whirlwind* geht:

By the end of 1945 the computer was still the tail of the dog, so to speak, and the aircraft stability and control analyzer was the dog. A year later, judging by events within the Servomechanisms Laboratory, the tail had passed through and beyond the point of wagging the dog and had become the dog.⁴⁵

Wie sehr der Schwanz (Computer) mittlerweile den Hund (Flugsimulator) dominiert, zeigt sich vor allem in der Geschichte dessen Cockpits: Nachdem schon zu Beginn des Projektes rasche Fortschritte mit dessen *controls* gemacht wurden, setzt sich nach der Umstellung auf digitales Rechnen in der Entwicklung des Cockpits (und nur hier) zunächst noch direkt die bisherige Arbeit am ASCA fort.⁴⁶ In das elektromechanische Rückkopplungssystem eines Analogrechners ließen sich die Instrumente und Regler eines Cockpits allerdings ohne Probleme integrieren. Einerseits sind sie auch in wirklichen Flugzeugen Teil einer „Maschine mit vielen eingebauten Rückkopplungsschleifen“⁴⁷ und andererseits sind sie für die analogen *instruments* oder Servomechanismen nichts als veränderliche Positionen mechanischer Teile auf die eingewirkt wird und die auf das Rückkopplungssystem einwirken. Für den digitalen *Whirlwind* hingegen erweisen sich die bewährten Rückkopplungen von Bedienern und Analogrechnern als nutzlos. Die Weiterentwicklung des Cockpits müsste daher die digitalen und diskreten Zustandsübergänge einer Maschine nach dem Modell Turings, die materiell als zeitlich abgegrenzte elektronische Pulse vorliegen, in kontinuierliche mechanische Kräfte und Bewegungen übersetzen, die auf den Piloten einwirken, woraufhin dessen mechanisch erfasste Reaktion ebenfalls in elektronische Pulse überführt werden muss.⁴⁸ Zwar ist die Digitalisierung durch Pulse-Code-Modulation und Scanning-Verfahren zu dieser Zeit in der Entwicklung – weshalb Wiener zum Beispiel auch die Bedeutung des Abtastens der Bilder beim Fernsehen ausdrücklich als Grundlage der Möglichkeit

⁴³ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 46.

⁴⁴ Robert Everett. »The Whirlwind I computer«. In: *AIEE-IRE '51*. 1951, S. 70–74, S. 72.

⁴⁵ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 46.

⁴⁶ Ebd., S. 48.

⁴⁷ Wiener zitiert nach Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 300.

⁴⁸ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 49.

digitalen Rechnens betont⁴⁹ –, doch die Wandlung von analog nach digital und zurück steht scheinbar vor allem dann noch an ihrem Anfang, wenn es um das Einbinden menschlicher Bediener und die Nutzung diskreter Rechner in Echtzeit geht. Analog-Digital-Wandlung ist ein neues und in erster Linie konzeptuelles Problem. „These problems were not impossible, but neither did established solutions exist. The digital computer was too new.“⁵⁰

Dem Team scheint dieses Problem aber weit weniger wichtig, als die technischen Hürden auf dem Weg zum Echtzeit-Universalrechner. Die Arbeit am Cockpit verlangsamt sich in den Jahren 1947 und 1948 zusehends und wird im Juni 1948 ganz eingestellt.⁵¹ Die Entscheidung, die Entwicklung am Cockpit zu stoppen, wird vor allem damit begründet, dass der Rechner fertig zu stellen sei, bevor am Cockpit sinnvoll weiter gearbeitet werden könne. Mehr noch: Crawford bezeichnet das Cockpit als „not essential to the program“⁵² und das Projekt konzentriert sich endgültig auf den Bau einer universellen Maschine: „This decision recognized the course the project had been following and marked the complete preoccupation of the project engineers with the effort to develop a general-purpose digital computer.“⁵³ Die Arbeit am Cockpit wird nicht nur eingestellt, die Teile, mit denen bisher gearbeitet wurde (darunter Cockpit, Rumpf und Geschützturm eines echten Flugzeugs), werden im Dezember 1948 demontiert. Sie landen auf dem „scrap heap“ des *Servomechanisms Lab*.⁵⁴ Die Frage nach der Kopplung von Bedienpersonal und Digitalrechnern wird damit vorerst vertagt (Abbildung 15).

3.3.1 Die Killer-Application

Das Beharren auf Universalität, dem das Cockpit schließlich zum Opfer fällt, ist für viele Zeitgenossen unverständlich, besteht doch die Möglichkeit, dass statt eines „brauchbaren“ Flugsimulators („something useful“⁵⁵) vielleicht gar nichts herauskommt. Das *Office of Research and Inventions* ist mittlerweile in das *Office for Naval Research* (ONR) aufgegangen⁵⁶ und bereits 1947 beginnt das ONR *Whirlwind* in Frage zu stellen. Warren Weaver, der schon den Erfolg der Arbeit am *Anti-Aircraft Predictor* angezweifelt hatte, fasst zu dieser Zeit die Skepsis gegenüber einem universellen Rechner ohne direkte Anwendbarkeit in der Flugsimulation mit der Frage zusammen: „Was Whirlwind failing to be good biscuits by trying to be cake?“⁵⁷

49 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 3.

50 Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 49.

51 Ebd., S. 59.

52 Ebd.

53 Ebd.

54 Ebd., S. 60.

55 Everett, »Whirlwind«, S. 366.

56 Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 59.

57 Zitiert nach Redmond und Smith, »Lessons from 'Project Whirlwind'«, S. 52.

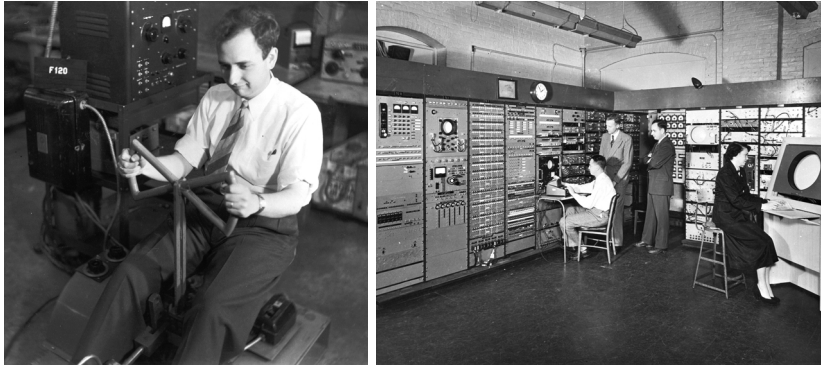


Abbildung 15: *Whirlwind* mit und ohne Cockpit: „one could almost make a history of WHIRLWIND with a sequence of pictures showing the control room as it changed over the years“ (aus Robert Everett. »Whirlwind«. In: *A History of Computing in the Twentieth Century*. Hrsg. von J. Howlett, Gian Carlo Rota und Nicholas Metropolis. Orlando: Academic Press, 1980, S. 372).

Forrester begründet in der Folge die Probleme und Verzögerungen bei der Entwicklung von *Whirlwind* weiter vor allem mit den hohen Anforderungen an die Geschwindigkeit eines Rechners zur Flugsimulation.⁵⁸ Schließlich wird aber klar, dass das ONR nicht länger glaubt, die *Special Devices Division* könne das Projekt weiter unter Kontrolle halten. Die „fearless and imaginative jumps into the future“, die die Abteilung unter Crawford mit dem Projekt zu verantworten hatte, würden so nicht weiter verfolgt werden.⁵⁹ Darüber hinaus wird das Projekt für ein Forschungsprojekt in Friedenszeiten zu teuer und aufwändig⁶⁰ und das ONR ist ab September 1948 nicht länger bereit, es im bisherigen Umfang weiter zu finanzieren.⁶¹ *Whirlwind* steckt in einer Krise⁶², nicht zuletzt deshalb, weil der Schwanz nun gänzlich ohne Hund dasteht: „Perhaps the project’s vulnerability this time around was greater because it had eliminated the cockpit program. Whirlwind had become a computer without a practical, specified mission.“⁶³ Ende des Jahres 1949 empfiehlt eine unabhängige Kommission dem ONR schließlich, das Projekt einzustellen, sollte keine vernünftige Anwendung dafür zu finden sein.⁶⁴

Forrester und sein Team suchen unter diesem Druck nach Alternativen zur Flugsimulation: Es entstehen Berichte zu Anwendungen in der Feuerleitung, der Überwachung des zivilen Luftraums, beim Bekämpfen von U-Booten oder zu Simulationen. Das ONR interessiert

⁵⁸ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 63.

⁵⁹ Ebd., S. 96.

⁶⁰ Ebd., S. 101.

⁶¹ Ebd., S. 119.

⁶² Ebd., S. 114.

⁶³ Ebd., S. 147.

⁶⁴ Ebd., S. 153.

sich jedoch vor allem für mathematische Anwendungen. Das Budget des Projektes ist für dieses Anwendungsfeld aber zu hoch.⁶⁵

Als universeller Rechner ohne konkrete Aufgabe gilt für *Whirlwind* das, was nach Peter Lunenfeld für alle Hard- und Softwaresysteme gilt: Sie werden erst angenommen, wenn eine „Killer-App“ existiert, die die Nachfrage (oder das „Marktsegment“) für diese Technologie erst erzeugt.⁶⁶ *Whirlwind* – und damit die Klasse der Echtzeit-Digitalrechner, die zu dieser Zeit noch mit ihm identisch ist – braucht also eine entsprechende ultimative Anwendung. Glücklicherweise taucht mitten in der Krise eine solche auf: „However, as often happens, at this critical juncture an optimum application appeared. [...] That application was air defense.“⁶⁷

Die *Air Force* interessiert sich für *Whirlwind* und bietet finanzielle Unterstützung an, um den Einsatz des Rechners für die Luftabwehr zu erproben.⁶⁸ Dank der russischen Atombombentests und des Eintritts der USA in den Koreakrieg erlangt die nationale Luftabwehr der USA mittlerweile hohe Bedeutung. Und zufälligerweise benötigt die *Air Force* genau das, was *Whirlwind* bietet: einen Rechner, der Radarpulse verarbeiten und Flugzeuge verfolgen kann. Mit neuem Ziel und neuen Geldgebern verändert sich auch die institutionelle Verankerung des Projekts: Das MIT trägt der längst erfolgten Verschiebung der Ausrichtung des Projektes Rechnung und gliedert ein *Digital Computer Laboratory* aus dem *Servoomechanisms Lab* aus.⁶⁹ Schließlich erhält das MIT mit dem *Lincoln Laboratory* eine Großeinrichtung, die ausschließlich an „digital computing systems to process nation-wide air-defense data“ arbeiten soll.⁷⁰ Das *Digital Computer Laboratory* wird anschließend in das *Lincoln Laboratory* integriert.⁷¹ *Whirlwind* soll von nun an der Verfolgung sich schnell ändernder Signale mit anderen Mitteln dienen.

3.3.2 SAGE

Whirlwind's Rettung erscheint Everett rückblickend als glücklicher Zufall.⁷² Und auch Mina Rees vom ONR, eine der Kritikerinnen des Projektes, sagt rückblickend: „They were lucky.“⁷³ Natürlich lässt sich dieses Glück auch als Beweis für den grundsätzlichen Sinn zielfreier

⁶⁵ Everett, »Whirlwind«, S. 374.

⁶⁶ Peter Lunenfeld. *Snap to Grid: A User's Guide to Digital Arts, Media, and Cultures*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001, S. 80. Vergleiche auch Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 405.

⁶⁷ Everett, »Whirlwind«, S. 375.

⁶⁸ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 156.

⁶⁹ Ebd., S. 157, 198.

⁷⁰ Ebd., S. 174.

⁷¹ Ebd., S. 198-199.

⁷² Everett, »Whirlwind«, S. 375.

⁷³ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 167.

Grundlagenforschung lesen: „Whirlwind thus became a splendid example in support of the novel and not-well-tested argument that research and development should be supported for its own sake, because the use will always be found.“⁷⁴

Beides ist aber höchstens die halbe Wahrheit. Radartechnologie ist nicht nur, wie Everett selbst bemerkt⁷⁵, neben Computertechnologie eine der wichtigsten Entwicklungen des Zweiten Weltkriegs, beide hängen auch sehr eng zusammen. Die Schaltkreise, die für das schnelle Umschalten zwischen Radarimpulsen und den Empfang ihres Echos entwickelt wurden, fließen als Taktgeber genau so in die ersten Computer ein, wie die in der Radartechnik verwendeten Speichermedien, die zur Detektion beweglicher Ziele im Radarsignal benötigt werden.⁷⁶ Die Bauteile der ersten Digitalrechner und deren Arrangements stammen so direkt aus der Radartechnik. Zugleich setzen die Radartechniker mit Nyquist-Diagrammen und feedbackbasierten Verstärkern auf die Methoden der klassischen Regelungstechnik⁷⁷, während die von Flugabwehrsystemen zu verfolgenden Signale immer wieder aus Radargeräten stammen. Das *Radiation Laboratory* und das *Servomechanisms Laboratory* des MIT sind nicht nur räumlich Nachbarn. Radar und Echtzeit-Digitalrechner stehen in einem extrem engen Verhältnis. Der Kurzschluss beider zu einem integrierten Luftverteidigungssystem ist so weniger eine gute Idee zur richtigen Zeit, als Folge der technischen, kulturellen und administrativen Umgebung, der beide entstammen.

Tatsächlich wird *Whirlwind* zunächst mit einem Radar in Lexington (beziehungsweise Bedford) verbunden und soll gleichzeitig Radardaten einlesen und die Position eines Flugzeuges in diesen Daten verfolgen und vorhersagen.⁷⁸ Nach dem erfolgreichen „tracking while scanning“ wird gezeigt, dass das System darüber hinaus Abfangkurse berechnen und ausgeben kann, womit *Whirlwind* als Rechner zur Ver-

74 Ebd.

75 Everett, »Whirlwind«, S. 366.

76 Genau wie das Sehen scheinbarer Bewegung beim Menschen zwei zeitlich versetzte Reize verlangt, deren Position miteinander verglichen werden kann, setzt auch die Detektion einer Bewegung im Radarecho die Möglichkeit voraus, zwei zeitlich getrennte Signale miteinander vergleichen und damit zumindest ein Signal speichern zu können. Anders als in Wertheimers Modell des Bewegungssehens ist hier allerdings tatsächlich die Annahme der Identität zweier zeitlich und räumlich verschiedener Signale Voraussetzung der Bewegungsdetektion. Für *Whirlwind* werden die Speichermedien der Radartechnologie allerdings erheblich weiterentwickelt. Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 181. Vergleiche auch Everett, »Whirlwind«, S. 366. Auch Wolfgang Hagen hebt die Rolle von technologischem „Radar-Input“ für den Bau früherer Computer hervor. Wolfgang Hagen. »Der Stil der Sourcen«. In: *HyperKult. Geschichte, Theorie und Kontext digitaler Medien*. Basel und Frankfurt a.M.: Stroemfeld, 1997.

77 Vergleiche hierzu Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 143-146, sowie Lewis, »Applied Optimal Control and Estimation; Digital Design and Implementation«.

78 Jay W. Forrester. *Statement of Status of Project Whirlwind Prepared for the Research and Development Board*. Techn. Ber. MIT Servomechanisms Laboratory, 1950, S. 6.

folgung und Vorhersage von Flugbewegungen gewissermaßen das Erbe des unvollendeten *Anti-Aircraft Predictor* antritt.⁷⁹ Schließlich wird der Rechner mit Radaranlagen in Cape Cod verschaltet, um ein experimentelles „multiple-radar network“⁸⁰ aufzubauen. Zur gleichen Zeit beginnt der Entwurf des Nachfolgemodells *Whirlwind II*. Dieser Rechner wird ab 1952 als AN/FSQ-7 von IBM gebaut und das zentrale Element des amerikanischen Luftverteidigungssystems SAGE, dem *Semi-Automatic Ground Environment*, das bis 1983 eingesetzt werden wird.⁸¹

Als Luftverteidigungssystem gegen russische Langstreckenbomber, dessen Vervollständigung von der Einführung der ersten Interkontinentalraketen begleitet wird und dessen gigantische Rechenzentren nie in Bunkern untergebracht werden können, bleibt sein militärischer Nutzen allerdings minimal.⁸² Wenn das Projekt trotzdem „the single most important computer project of the postwar decade“⁸³ sein sollte, dann nicht wegen seines strategischen Nutzens, sondern wegen der wissenschaftlich-technischen Entwicklungen auf dem Weg dorthin. Und dies betrifft nicht nur die Konstruktion des Rechners, es betrifft auch und vor allem seine Bedienung. Denn mit dem Verschalten von *Whirlwind* und Radar entsteht schließlich wieder der Bedarf, menschliches Personal mit dem Computer zu verbinden und das zunächst vertagte Problem der Kopplung digitalen Rechnens mit dessen menschlicher Benutzung wird wieder akut. Die benötigten Kopplungen werden aber grundsätzlich anders aussehen, als die „powerful servomechanisms“ der Flugsimulation, die mit dem Cockpit verworfen wurden.

3.4 FEEDBACKMASCHINEN

3.4.1 Unterbrechung

Die Arbeitsgruppe um Forrester und Everett baut also statt eines universellen Flugsimulators eine der ersten universellen Maschinen, die überhaupt entstehen. Dies geschieht aber nicht in erster Linie aus der Tradition der Maschinisierung einer formalen Mathematik heraus, sondern im Zeichen eines „systems-engineering approach“ in der Tradition der Servomechanismen, den Forrester und Everett explizit dem mathematischen Ansatz von etwa von Neumann entgegenstellen.⁸⁴ Nicht theoretische Überlegungen führen zu dieser Verknüp-

79 C. R. Wieser. *Cape Cod System and Demonstration*. Techn. Ber. Cambridge, MA: Lincoln Laboratory – Division 6, 1953, S. 2.

80 Ebd., S. 1.

81 Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 206.

82 Paul N. Edwards. *The Closed World. Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996, S. 110.

83 Ebd., S. 75.

84 Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 138.

fung der „*logical-formal tradition of manipulating discrete numerical quantities*“ mit der „*engineering tradition of producing radio and radar equipment*“⁸⁵, sondern schlicht und einfach das Potential, das digitale Rechenverfahren für die Regelungstechnik versprechen. „Das *Project Whirlwind* war – anders als viele andere Computerprojekte der vierziger Jahre – nie ein wissenschaftliches Vorhaben.“⁸⁶ Für die Ingenieure ist die Digitaltechnik lediglich „Mittel zum Zweck“⁸⁷ und dieser Zweck ist die Regelung – wenn auch nicht die eines Flugsimulators. Anders als es vielleicht für Forrester scheinen mag, liegt ihre Brisanz damit nicht allein in ihrer Universalität bei bisher unerreichter Rechengeschwindigkeit⁸⁸, sondern in der Fähigkeit zum Rechnen in Echtzeit. Denn Echtzeit bedeutet einen fundamentalen Unterschied zum Maschinenmodell Turings: Der diskrete Übergang von einer Konfiguration einer Turingmaschine zur nächsten kennt keine Zeit und „Turing machines cannot handle the passage of time“⁸⁹. Das Modell lässt lediglich zu, die Anzahl der durchlaufenden Konfigurationen einer Turingmaschine in Beziehung zur Länge ihrer Eingabe zu setzen. Diese Größe nennt die theoretische Informatik „Laufzeit“. Sie wird gewöhnlich in der „Landau-Notation“ angegeben, wobei eine Formel wie

$$f \in O(n)$$

oder auch

$$f = O(n)$$

nichts anderes bedeutet, als dass die obere Schranke für die Anzahl der Konfigurationen, die eine Turingmaschine beim Berechnen der Funktion f durchlaufen wird, linear mit der Länge n der Eingabe in diese Funktion wächst.⁹⁰ Wie die Turingmaschine selbst, ist Laufzeit daher eine rein formale Größe, die erst in der Verknüpfung mit der tatsächlichen Architektur einer Maschine zu einer Dauer werden kann.⁹¹

Anders als Laufzeit bezieht sich Echtzeit dagegen immer auf die Zeit einer Umwelt und kommt erst im Falle einer Rückkopplung mit

85 Ebd., S. 32, Hervorhebungen im Original.

86 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 90-91.

87 Ebd., S. 91.

88 Ein Prospekt zu *Whirlwind*, der 1951 entsteht, fasst den Computer zusammen als: „general purpose, high speed“. MIT. *Whirlwind I: A high-speed Electronic Digital Computer*. Promotional brochure. Cambridge, MA, 1951, S. 16.

89 Peter Wegner. »Why interaction is more powerful than algorithms«. In: *Communications of the ACM* 40.5 (1997), S. 80-91, S. 83.

90 Zum Einsatz der Landau- oder O-Notation vergleiche Donald Knuth. *The Art of Computer Programming, Volume 1: Fundamental Algorithms*. Redding, MA: Addison-Wesley, 1997, S. 107-110.

91 Vergleiche hierzu auch Scherffig und Trogemann, »Über das Warten beim Rechnen – Synchronisationsstrategien in parallelen und interaktiven Systemen«.

dieser Umwelt ins Spiel. Zugleich bedeutet die Rückkopplung mit der Umwelt aber ein weiteres Überschreiten des Modells Turings: Stehen bei einer Turingmaschine zu Beginn der Berechnung alle Daten, die zur Eingabe der Maschine gehören, auf dem Band, so impliziert Rückkopplung, dass die Eingaben in die Maschine erst zu ihrer Laufzeit auf dem Band erscheinen – und das auch noch in Abhängigkeit von ihrer bisherigen Ausgabe. Während *Whirlwind* den Kurs eines Flugzeugs verfolgt und extrapoliert, wird dieser sich ändern. „Tracking while scanning“ verweist auf dieses Problem einer immer noch unvollständigen Eingabe. Gibt *Whirlwind* noch dazu einen Abfangkurs für das verfolgte Flugzeug aus, wird dessen Pilot irgendwann auf das Verhalten des Rechners und der daran angeschlossenen Flugabwehr reagieren. Der *control loop* der Flugabwehr ist damit endgültig geschlossen und das Verhalten von Flugzeug und Flugabwehrsystem hängt zirkulär voneinander ab (Abbildung 12). Wenn man dagegen anführt, dass das Band einer Turingmaschine ja unendlich lang sei und dass daher auch die Eingaben darauf stehen könnten, die das Verhalten der Maschine *in Zukunft erst hervorrufen wird*, macht man damit zugleich eine starke Annahme über die Natur des geregelten Prozesses: dieser müsste nämlich schon zu Beginn der Berechnung feststehen – eine Annahme, die zum Beispiel Wiener für die Flugabwehr nicht machen würde, sieht er doch das Verhalten des Flugzeugs als Kombination sozio-technisch nahegelegter und determinierter Muster auf der einen, und freier Entscheidungen auf der anderen Seite. Letztere sind in der Arbeit Wieners allenfalls als echter Zufallsprozess modellierbar und zu keinem Zeitpunkt determiniert.⁹² Wenn Rechnen in diesem Sinne „grounded in an external reality“ ist, ist es nicht länger auf Algorithmenk reduzierbar.⁹³

Auch sind Aufgaben wie das „tracking while scanning“ prinzipiell unabgeschlossen. Zwar unterscheidet auch Turing zwischen zirkelfreien Maschinen, die anhalten und dabei eine endliche Ausgabe hinterlassen und zirkulären Maschinen, die ewig laufen und dabei unendlich lange Ausgaben produzieren können.⁹⁴ Letztere arbeiten aber auf derselben feststehenden Eingabe wie erstere, ihre Zirkularität folgt aus dem Algorithmus, den sie abarbeiten. Sie sind vor allem für die Theorie der Berechenbarkeit interessant – weil die Frage, ob eine Maschine entscheiden kann, ob eine Turingmaschine zirkulär ist, eine entscheidende Rolle für Turings Beweis spielt.⁹⁵ Der klassische Algorithmenbegriff geht in seinem Gebrauch daher davon aus, dass Programm und Daten zu Beginn der Berechnung feststehen, „wo-

92 Roch und Siegert, »Maschinen, die Maschinen verfolgen: über Claude E. Shannons und Norbert Wieners Flugabwehrsysteme«.

93 Wegner, »Why interaction is more powerful than algorithms«, S. 82.

94 Turing, »On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem«, S. 233.

95 Ebd., S. 246-247.

bei die Berechnung selbst nach einer endlichen Anzahl von Schritten stoppen soll“⁹⁶.

Trotzdem ist der Modus des unabgeschlossenen Rechnens heute sehr weit verbreitet: Rechner verarbeiten unablässig Daten aus ihrer Umgebung und wirken auf sie ein. Heutige Betriebssysteme sind Programme, die auf den Dauerbetrieb ausgelegt sind und es wäre unsinnig von ihnen ein Ergebnis oder ein Anhalten zu verlangen. Vielmehr verbringen sie den größten Teil ihrer Echt-Zeit in Wartestellung, bis sie von eintreffenden Daten (Netzverkehr, Mausbewegungen, Tastenanschlägen) unterbrochen werden. Das entscheidende Novum dieses Rechenmodus ist also das Sich-Unterbrechen-Lassen.

Einige Jahre nach dem Projekt *Whirlwind* wird es als „Interrupt“ Einzug in die Computerhardware halten⁹⁷ – wo es bis heute nicht mehr wegzudenken ist. Als Hardwarebestandteil erlaubt es der Interrupt, immer dann, wenn ein externes Ereignis es erfordert, einen Prozessor bei seiner Arbeit zu unterbrechen. Dieser nimmt sich daraufhin des Ereignisses an, speichert aber zuvor seinen aktuellen Zustand, um dann nach Bearbeitung des Ereignisses zur ursprünglichen Arbeit zurückkehren zu können.⁹⁸ Das hardwarebasierte prozessorsynchrone Unterbrechen durch einen Interrupt ist aber noch nicht Teil von *Whirlwind*. Die Daten, die über die Telefonleitung aus den Radargeräten kommen, werden ohne Beteiligung der zentralen Kontrolleinheit direkt in einen Zwischenspeicher geschrieben.⁹⁹ Um sie dann zu verarbeiten, muss *Whirlwind* das Unterbrechen noch selbst vornehmen: Es erfolgt prozessorsynchron immer dann, wenn keine anderen Aufgaben zu bewältigen sind. Der Rechner überprüft dann den Zwischenspeicher auf angekommene Daten und überträgt sie gegebenenfalls in den Hauptspeicher – oder verwirft sie, wenn nicht genug Zeit zum Einlesen zur Verfügung steht.¹⁰⁰ Dieses Verfahren wird heute *polling* genannt, und unterscheidet sich vom Interrupt vor allem dadurch, dass es weniger effizient ist, aber alleine von der Software eines Rechners gesteuert ist und keine spezielle Hardware erfordert. Unabhängig davon aber, ob ein Hardwarebestandteil oder der Rechenprozess selbst die Unterbrechung vornimmt gilt dennoch bis heute: „Keine (Inter-)Aktion also ohne Unterbrechung.“¹⁰¹ Interaktion als *grounding* von Rechnen in der Aktivität seiner Umwelt ist

96 Trogemann und Viehoff, *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, S. 85.

97 Der Rechner DYSEAC besitzt 1954 den ersten Ein-/Ausgabe-Interrupt. Mark Smotherman. »A sequencing-based taxonomy of I/O systems and review of historical machines«. In: *ACM SIGARCH Computer Architecture News* 17.5 (1989), S. 5–15, S. 8.

98 Vergleiche hierzu beispielsweise Gregory Andrews. *Foundations of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming*. Redding, MA: Addison-Wesley, 2000, S. 267–268.

99 Eine Technik, die heute als „Direct Memory Access“ (DMA) bezeichnet wird. Smotherman, »A sequencing-based taxonomy of I/O systems and review of historical machines«, S. 8.

100 Everett, »Whirlwind«, S. 377.

101 Claus Pias. »Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse«. In: *HyperKult II: Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*. Hrsg. von Martin Warn-

unter diesen Umständen aber nicht-algorithmisch und „nonterminating reactive processes, like operating systems, cannot be modeled by algorithms.“¹⁰²

Damit verlässt die Informatik praktisch schon von Beginn an den sicheren Boden ihrer eigenen Theorie. Eine Tatsache, die diese Disziplin bis heute nicht aufgeholt hat. Erst in den 1990er Jahren wird der Versuch unternommen, der „umweltlosen“ Turingmaschine auch in der theoretischen Informatik ein Konzept an die Seite zu stellen, das das Rechnen in und mit einer Umwelt berücksichtigt. Die „Interaction Machine“ ist eine Erweiterung der Turingmaschine um dynamischen In- und Output.¹⁰³ Aus Sicht der Theorie der Informatik ist diese abstrakte Maschine mächtiger als eine Turingmaschine, weil sie sich äquivalent zu einer von Turing selbst untersuchten „Orakelmaschine“ erweist – einer Turingmaschine, die nicht-berechenbare Funktionen „berechnen“ kann, indem sie ein Orakel nach Lösungen fragt.¹⁰⁴ Orakelmaschinen können zwar nicht praktisch gebaut werden, sind für die Theorie der Informatik aber wichtig, weil sie hier als Grundlage der Definition von Komplexitätsklassen dienen.¹⁰⁵ Das Konzept der Interaktionsmaschine trägt nun der Tatsache Rechnung, dass die Informatik ohnehin ständig „Orakel“ befragt. Dass Interaktionsmaschinen durch das Befragen ihrer Umwelt genau so viel und mehr leisten können als Turingmaschinen zeigt der Informatiker Peter Wegner mit einer hypothetischen „Interaction Identity Machine“, die beliebige Eingaben aus ihrer Umwelt unverändert an diese Umwelt zurückgibt.¹⁰⁶ Da diese Umwelt zum Beispiel eine beliebige Turingmaschine sein kann, darüber hinaus aber auch „any input stream“ der überhaupt möglich ist, kann die *Interaction Identity Machine* zwangsläufig all das, was der Formalismus der Turingmaschine bereit hält – und mehr. Dieser „theoretical trick“¹⁰⁷ macht dabei deutlich, wie sehr der Einfluss der Umwelt, der seit *Whirlwind* Teil praktisch aller Anwendungen universeller Maschinen ist, das, was mit diesen Maschinen getan werden kann, verändert, wenn nicht erweitert. Der „paradigm shift from algorithm to interaction“ mag aus der Sicht der theoretischen Informatik zwar „radikal“ wirken¹⁰⁸, versucht aber nur einzu-

ke, Wolfgang Coy und Georg Christoph Tholen. Bielefeld: transcript, 2005, S. 313–339.

¹⁰² Wegner, »Why interaction is more powerful than algorithms«, S. 83.

¹⁰³ Zur Einführung vergleiche ebd., sowie Dina Goldin und Peter Wegner. »Principles of Interactive Computation«. In: *Interactive Computation: The New Paradigm*. Hrsg. von Dina Goldin, Scott A. Smolka und Peter Wegner. Berlin und Heidelberg: Springer, 2006, S. 25–37.

¹⁰⁴ Wegner, »Why interaction is more powerful than algorithms«, S. 83.

¹⁰⁵ Eine Einführung gibt zum Beispiel Lothar Michael Putzmann. »Orakel: Eine Frage zum Problem Berechenbarkeit und Material«. In: *Code und Material. Exkursionen ins Undingliche*. Hrsg. von Georg Trogemann. Wien und New York, NY: Springer, 2010, S. 116–125.

¹⁰⁶ Wegner, »Why interaction is more powerful than algorithms«, S. 84.

¹⁰⁷ Ebd.

¹⁰⁸ Ebd., S. 81.

holen, was schon lange Fakt ist. Vor diesem Hintergrund erklärt sich, warum einfache Algorithmen in einer komplexen Umgebung komplexes Verhalten entwickeln können. Und warum zum Beispiel Googles *PageRank*-Algorithmus das Problem zu lösen scheint, welche Webseite bei Vorliegen einer bestimmten Texteingabe eine „relevante“ Antwort auf diese Eingabe darstellen könnte. *PageRank* ist *grounded* im Verhalten von Nutzern des World Wide Web, für die das Setzen eines Links eine bedeutungstragende Handlung ist, die der Algorithmus nur abzurufen braucht – ohne selbst über ein Modell von Relevanz zu verfügen. Dina Goldin wird den formalen Beweis der größeren Expressivität in diesem Sinne interaktiver Maschinen später unter Rückgriff auf „persistent Turing machines“ führen, die Turings Modell einer Maschine mit einem Band, von dem die Maschine lesen und auf das sie schreiben kann, um zwei Bänder erweitern, über die die Maschine mit einer dynamisch reagierenden Umwelt interagiert.¹⁰⁹

3.4.2 Kopplung

Während also einerseits *Whirlwind* eine Kopplung von Rechner und Umwelt aus der Regelungstechnik und Kybernetik in eine Informatik überträgt, der solche Kopplungen fremd sind, gibt die Umstellung auf digitales Rechnen andererseits eine zentrale Eigenschaft analoger Systeme auf, die die Regelungstechnik und frühe Kybernetik maßgeblich geprägt hat: Das indexikalische Verhältnis von Daten und Darstellung in Rechnern wie dem *Differential Analyzer* verlieh dem Rechnen mit diesen Maschinen nicht nur eine unmittelbare Anschaulichkeit, die aus der Identität von Zahlen und Bewegung folgt, es hätte auch in einem analogen *Whirlwind* das simulierte Feedback des Fliegens als analoges Feedback zugleich anschaulich und manipulierbar gemacht. Dies ist der Zusammenhang, auf den Pias mit dem Verweis auf den Blindflug früher Flugsimulatoren abzielt¹¹⁰: Die Umstellung auf digitales Rechnen macht die Benutzer des Flugsimulators, zu dem *Whirlwind* hätte werden sollen, wieder blind für dessen Berechnungen, wie auch der Rechner zunächst „blind“ für die Handlungen seiner Benutzer wird: „Sichtbarkeit und Kommensurabilität“ gehen verloren¹¹¹ und „[d]er Umstieg auf die zu diesem Zeitpunkt noch unsichtbare Digitaltechnik bedeutete nichts anderes, als wieder beim Blindflug anzufangen.“¹¹²

Am Beispiel der *Williams Tube* zeigt Pias weiter, wie digitale Daten gerade dann ihre Sichtbarkeit verlieren, wenn sie ohne symbo-

¹⁰⁹ Goldin und Wegner, »Principles of Interactive Computation«, S. 32-34.

¹¹⁰ Vergleiche 2.1.

¹¹¹ Vergleiche hierzu Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 52-56.

¹¹² Ebd., S. 53. Wobei dieser Vergleich etwas hinkt, denn „Blindflug“ bezeichnet den Flug nach Instrumenten und damit das, was das Cockpit des analogen ASCA zu leisten vermocht hätte, während *Whirlwind* bereits am Ermöglichen des Blindflugs scheitert.

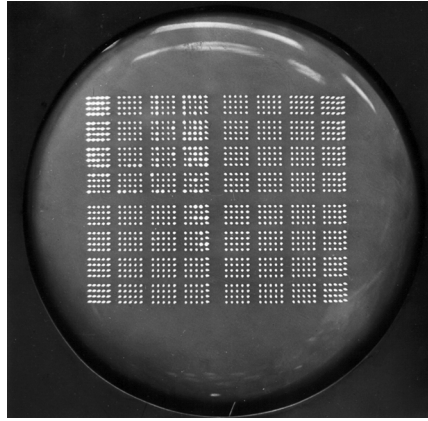


Abbildung 16: Williams Tube (Foto von Onno Zweers/Flickr).

lische Übersetzung dargestellt werden.¹¹³ Die *Williams Tube* ist ein Speichermedium aus der Radartechnik: Daten werden als Punkte elektrischer Ladung auf die Mattscheibe einer Kathodenstrahlröhre geschrieben und bleiben dort aufgrund der Trägheit dieses physikalischen Systems eine Zeit lang erhalten. Sie können daher nach dem Schreiben als Veränderung des elektrischen Potentials an dieser Stelle wieder ausgelesen werden. Werden die Daten dann erneut auf die Mattscheibe geschrieben, entsteht ein Kreislauf aus sich wiederholenden *refresh*-Vorgängen, der sich als Arbeitsspeicher benutzen lässt. Dabei kann die Röhre einen Phosphorüberzug besitzen, der die Daten auch für menschliche Augen sichtbar macht – zumindest wenn man vernachlässigt, dass das Auslesen der Daten durch ein Elektrodengitter geschieht, das die Sicht auf die Daten verdeckt. Hier ist aber entscheidend, dass die Überführung der als Nullen und Einsen aufgefassten diskreten Zustände eines Speicherregisters in Lichtpunkte zwar (zweidimensional) räumlich und gewissermaßen „visuell“ erfolgt, aber diese „Bilder [...] widersprechen jeder Betrachtung als Computergrafik im heutigen Sinne“¹¹⁴. Was hier zu sehen ist, ist mit dem Speicherinhalt identisch und wurde nicht in Form gebracht, um auch lesbar zu sein (Abbildung 16): „die Punkt-Bilder selbst *sind* die indexikalischen Daten eines Arbeitsspeichers.“¹¹⁵

Trotzdem zeigt die *Williams Tube* aber, dass und wie digitale Daten auf dem Schirm eines Oszilloskops zum leuchten gebracht werden können. Zugleich hatte die Radartechnik auch schon in ihren analogen Zeiten auf die Darstellung auf Oszilloskopen gesetzt. Sie stellen von Beginn an die unsichtbaren Radarantworten visuell dar¹¹⁶ und werden auch früh mit Drehreglern kombiniert, an denen Ra-

¹¹³ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 55-56.

¹¹⁴ Ebd.

¹¹⁵ Ebd., Hervorhebung im Original.

¹¹⁶ Wolfgang Pircher. »Gleichschaltungen: Im Takt des Einen«. In: *Kulturtechniken der Synchronisation*. Hrsg. von Christain Kassung und Thomas Macho. München: Wilhelm Fink Verlag, 2013, S. 189–209, S. 202.

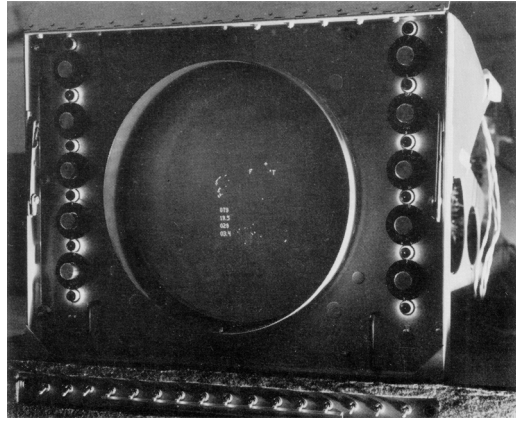


Abbildung 17: Symbolische Darstellungen auf dem Bildschirm von Whirlwind (aus Robert Everett. »Whirlwind«. In: *A History of Computing in the Twentieth Century*. Hrsg. von J. Howlett, Gian Carlo Rota und Nicholas Metropolis. Orlando: Academic Press, 1980, S. 376.

darechos miteinander abgeglichen oder sogar Ziele auf einer planen und „kartenähnliche[n] Ansicht eines Luft- oder Bodenareals in einem zweidimensionalen Koordinatensystem“ ausgewählt werden können – wobei, wie in der Flugabwehr üblich, Drehregler für die x- und y-Komponenten der Koordinaten eingesetzt werden.¹¹⁷

Die Herstellung von Sichtbarkeit beginnt im Projekt *Whirlwind* daher mit der Verknüpfung bekannter Techniken der Darstellung von Radardaten mit der Technologie der *Williams Tube*, die digitale Daten auf den Schirm von Oszilloskopen bringt. Der Rechner wird an die übrigen¹¹⁸ Oszilloskope der Radartechnik des Zweiten Weltkriegs angeschlossen: „One of the things that I think we did first was to connect a visual display to a computer.“¹¹⁹ Hier werden die Daten aus der Luftraumüberwachung zu Buchstaben (Abbildung 17) wie „T“ (*target*) und „F“ (*fighter*)¹²⁰. Dabei erfolgt diese Neuerung ganz pragmatisch unter Rückgriff auf aus der Radartechnik vertraute Visualisierungstechniken und Technologien und ohne dass hier von grundsätzlichen Problemen der Sichtbarkeit die Rede wäre. Die Ansteuerung des Lichtpunktes auf der Mattscheibe einer Kathodenstrahlröhre über einen Digital-Analog-Wandler ist schlicht und einfach „one of the things that I think we did first“.

Während also Sichtbarkeit hier auf der Mattscheibe alter Oszilloskope erscheint, erfolgt die Wiederherstellung der Kommensurabi-

117 Axel Roch. »Die Maus. Von der elektrischen zur taktischen Feuerleitung«. In: *Lab. Jahrbuch 1995/96 für Künste und Apparate*. Köln: Verlag der Buchhandlung Walther König, 1996, S. 166–173, S. 170.

118 Die entsprechenden Oszilloskope sind tatsächlich aus der Radartechnik des Krieges übrig und für Everett sieht der entstehende Kontrollraum wie ein Lager für Gebrauchtoszilloskope aus. Everett, »Whirlwind«, S. 379.

119 Ebd., S. 375.

120 Roch, »Die Maus. Von der elektrischen zur taktischen Feuerleitung«, S. 166.



Abbildung 18: SAGE und Light-Gun (Bild von The Mitre Corporation, SAGE Photo Archives).

lität von Rechner und Bedienpersonal vor allen Dingen, wie oben gezeigt, durch das unterbrochene Rechnen. Diese tatsächlich neue Verknüpfung von digitalem Rechnen und Bedienpersonal wird wohl am deutlichsten durch eine Technologie illustriert, die *Whirlwind* einführt: Mit einer „Light-Gun“ können symbolische Darstellungen von Flugzeugen auf den Oszilloskopen des Systems ausgewählt werden (Abbildung 18). Technisch basiert diese Kopplung direkt auf dem Verschalten von Unterbrechung mit dem Zeichnen symbolischer Darstellungen: In der Spitze der Light-Gun ist eine Fozelle angebracht. Wird sie auf einen Punkt auf der Mattscheibe eines Oszilloskops gerichtet, erfasst sie das Licht, das der Kathodenstrahl genau dann dort aufleuchten lässt, wenn er an diesen Punkt etwas zeichnet. Da das Zeichnen auf *Whirlwinds* Bildschirmen noch nicht gerastert ist, erfolgt es Objekt für Objekt. Beim Erfassen des Lichts schaltet die Light-Gun nun einen Schalter des Rechners, der ihn veranlasst kurz das Zeichnen zu unterbrechen, um zu registrieren, beim Zeichnen welchen Objektes er unterbrochen wurde. Das Objekt ist das, was am Bildschirm ausgewählt wurde. Das Feedback zwischen Darstellung und Auswahl, Ausgabe und darauf bezogene Eingabe vollzieht sich so durch das Unterbrechen beim Zeichnen. „The light gun is a photo-cell device which is placed over the desired blip on the display scope and then sends a pulse into the computer to indicate to the computer that action [...] is to be taken on that particular aircraft.“¹²¹

Die *Williams Tube* ist dabei nicht nur Vorlage für das Zeichnen digitaler Inhalte auf auf einen Kathodenstrahlmonitor. Tatsächlich war die Light-Gun auch ursprünglich konstruiert worden, um diesen Speicher testen zu können.¹²² Sie steht also technisch bereits zur Verfü-

¹²¹ Wieser, *Cape Cod System and Demonstration*, S. 2, wobei „blip“ im Jargon der Radartechnik die Radarantwort eines Flugzeugs bezeichnet.

¹²² Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 103.

gung, bevor sie mit dem Prinzip der Unterbrechung gekoppelt und als Light-Gun eingesetzt wird. Als Antwort auf das Problem, dass digitales Rechnen „too new“ ist, um auch benutzbar zu sein, gilt nun, so Pias, dass *Whirlwind* endlich „auf den langsamsten Systembestandteil Rücksicht nehmen konnte, nämlich den Benutzer der Lightgun.“¹²³

Die Erzeugung von Sichtbarkeit und Kommensurabilität ist damit aber noch nicht vollständig. Symbolische Darstellung auf einem Monitor und deren Manipulierbarkeit dank Light-Gun markieren zwar die technischen Voraussetzungen ihrer Herstellung, deren weiterer Prozess wird hier aber noch genauer anzuschauen sein. Denn beides lässt sich nicht getrennt voneinander betrachten: Einerseits ist die Auswahl gezeichneter Objekte offensichtlich von deren Existenz abhängig – andererseits werden wir noch feststellen, dass auch die Existenz dieser Objekte mit der Möglichkeit sie auszuwählen zusammen hängen könnte.

Vor diesem Hintergrund zeigt sich zunächst aber

- erstens, dass *Whirlwind* eine der ersten universellen Maschinen und damit „Computer“ im heutigen Sinn ist,
- zweitens, dass diese Maschine, anders als die Theorie das vorsieht, zur Laufzeit auf Eingaben reagieren kann
- und drittens, dass die Kopplung von Ein- und Ausgaben hier anders als in analogen Computern über den Umweg symbolischer Darstellung erfolgen muss.

Mit *Whirlwind* überholt die Informatik ihre eigene Theorie und führt einen neuen Maschinentyp ein. Wegner bezeichnet diese Maschine als „Interaction Machine“, womit er der Rolle Rechnung trägt, die sie in der Informatik nach ihrer Einführung spielen wird. Der Philosoph Rainer Becker spricht hier von einer „universellen kybernetischen Maschine“¹²⁴ und macht damit bereits ihre doppelte Verankerung in Kybernetik und der Geschichte symbolischer Maschinen deutlich. Um aber die hier rekonstruierte Vorgeschichte zu betonen und um zugleich der Tatsache Rechnung zu tragen, dass ihre entscheidende Eigenschaft im Bruch mit dem analogen Rechnen bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Paradigmas der Kontrolle durch Feedback besteht, bietet sich noch ein anderer Name an. Während der Feedbackbegriff in der Folge aus dem Informatikdiskurs weitgehend verschwinden wird, verbindet dieser Name die „Maschine“ im Sinne Hartrees als symbolische Maschine im Sinne Krämers oder universelle Turingmaschine mit eben dem Feedbackbegriff: Feedbackmaschine.

¹²³ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 57.

¹²⁴ Rainer C. Becker. *Black Box Computer. Zur Wissensgeschichte einer universellen kybernetischen Maschine*. Bielefeld: transcript, 2012.

Teil III

INTERAKTION

WAS IST INTERAKTION?

Was ist das Paradigma der akademischen „Human-Computer Interaction“? Ihre zentralen Begriffe sind Interaktion und Interaktivität. Aber während sich für diese zunächst eine informatisch-technische und eine soziologische Verwendung unterscheiden lässt, zeigt ihr tatsächlicher Gebrauch doch, dass meist nicht sauber zwischen beiden Verwendungen getrennt wird. Und während sich die Disziplin der „Human-Computer Interaction“ im Zusammenhang mit diesen Begriffen gebildet hat, hat sie doch nie Sprache und Stil einer normalen Wissenschaft ausgebildet. Ein wesentlicher Grund für beides liegt in der Tatsache begründet, dass in der Rückkopplung symbolischer Maschinen mit ihrer Umwelt die maschinelle Manipulation bedeutungsfreier Symbole auf die menschliche Interpretation symbolischer Darstellungen trifft. Im Anschluss an die Semiotik nach Peirce klärt Nakes Konzept des algorithmischen Zeichnens dieses Verhältnis als ein Zusammenspiel des interpretierenden Vorganges der Semiose mit dem determinierten Vorgang des Rechnens. Dieses Zusammenspiel ist „Quasi-Kommunikation“ und kann sowohl technisch als auch völlig untechnisch verstanden werden. „Interaktion“ gibt diesem hybriden Vorgang einen ebenso vielseitigen Namen. Und weil der Begriff auf ein komplexes Feld rekurriert, das in der hier skizzierten Genese der Feedbackmaschine nur eine teilweise Darstellung erfährt, lässt sich Interaktion als „Dispositiv“ beschreiben – als heterogene Gesamtheit, in der diskursive und materielle Formen ineinandergreifen. Die Disziplin der „Human-Computer Interaction“ wird von der Arbeit mit diesem Dispositiv zusammengehalten. Sie ist eine „trading zone“, in der verschiedene inkomensurable Denkstile an einem gemeinsamen Problemfeld arbeiten.

4.1 FROM COMPUTING MACHINERY TO INTERACTION DESIGN

Als Ende der 1990er Jahre das kommende Jahrtausend Anlass für zahlreiche Rück- und Ausblicke bietet, betitelt der Informatiker Terry Winograd seinen Beitrag zu einem Sammelband über die nächsten 50 Jahre der Informatik mit „From Computing Machinery to Interaction Design.“¹ Ganz einem Denken des evolutionären Fortschritts verhaftet, benennt dies eine zielgerichtete Entwicklung, von der *Computing Machinery* der Vergangenheit zu einem *Interaction Design* der Zukunft. In der Gegenwart und damit zwischen diesen Stationen setzt Winograd ein Feld voraus, zu dessen Vertretern er selbst gehört: Human-Computer Interaction.

¹ Terry Winograd. »From Computing Machinery to Interaction Design«. In: *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing*. Hrsg. von Peter Denning und Robert Metcalfe. Berlin: New York, NY, 1997, S. 149–162.

Sowohl damals als auch heute wird die Human-Computer Interaction in eigenen Studiengängen und mit eigenen Lehrbüchern gelehrt, sie besitzt spezialisierte Zeitschriften, Konferenzen und mit der SIGCHI eine eigene „special interest group“ in der ACM. Die Entwicklung der Disziplin verläuft allerdings, so Hans Dieter Hellige, „untypisch“ und nach „ersten Anläufen wissenschaftlicher Beschäftigung um 1960“ entwickelt sich das Feld „erst Anfang der 80er Jahre zu einer eigenständigen Disziplin“². Trotzdem scheint die Human-Computer Interaction innerhalb einer Informatik, die schon lange zu ausdifferenziert ist, um noch als einheitliche Disziplin erscheinen zu können, den Status einer weitgehend eigenständigen normalen Wissenschaft zu besitzen. Wenn aber Human-Computer Interaction eine normale Wissenschaft ist, stellt sich die Frage: Was ist ihr Paradigma? Welche Werte, Meinungen und Methoden, Fragestellungen, Problemlösungen und Vorbilder stehen in ihrem Zentrum?

Die Richtung, in die Winograds Titel weist, liefert einen ersten Hinweis auf eine mögliche Antwort auf diese Fragen: Von der *Computing Machinery* über die Human-Computer Interaction zum *Interaction Design* sieht er augenscheinlich einen bestimmten Begriff an Bedeutung gewinnen: Interaktion.

4.2 INTERAKTION UND INTERAKTIVITÄT

„»What is interaction?« This simple question has been intriguing me for more than a decade“, leitet der Informatiker Dag Svanæs eine bemerkenswerte Doktorarbeit mit dem Titel „Understanding Interactivity“ ein.³ Unter Verweis auf eine kanonische Definition des Feldes durch Ronald Baecker und William Buxton⁴ schließt er daran an: „I felt that there must be more to interaction than what is revealed by straight forward definitions like »the set of processes, dialogues, and actions through which a human user employs and interacts with a computer«.“

Deutsch- und englischsprachige Lehrbücher der Disziplin warten oft mit Definitionen auf, die auf den ersten Blick ähnlich allgemein scheinen wie die Definition von Baecker und Buxton. So heißt es zum Beispiel: „Für das Zusammenwirken von Mensch und Rechner in interaktiven Rechneranwendungen benutzen wir den Begriff *Mensch-Computer-Interaktion*.“⁵ Oder: „Human-Computer Interaction is a dis-

² Hans Dieter Hellige. »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«. In: *Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung*. Hrsg. von Hans Dieter Hellige. Bielefeld: transcript, 2008, S. 11–92, S. 15.

³ Dag Svanæs. »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.« Diss. Trondheim, Norway: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), 2000, S. vii.

⁴ Ronald M. Baecker und William A. S. Buxton, Hrsg. *Readings in human-computer interaction: a multidisciplinary approach*. San Mateo, CA: Morgan Kaufman, 1987, S. 40.

⁵ Andreas M. Heinecke. *Mensch-Computer-Interaktion*. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig, 2004, S. 16, Hervorhebung im Original.

cipline concerned with the design, evaluation and implementation of interactive computing systems [...]“⁶.

Die Rückbindung von Interaktion an „interaktive“ Rechner (-anwendungen oder -systeme) mag zunächst zirkulär erschienen, sie ist aber genauer als der bloße Verweis auf Computer bei Baecker und Buxton. Svanæs schreibt weiter:

A first and necessary step to take before this question can be answered, is to define the relations between the terms Interaction, Interactive, and Interactivity. An interaction involves at least two participants. In the context of human-computer interaction, the human is interacting with the computer. I define an artifact to be interactive if it allows for interaction. I further use the term interactivity to denote the interactive aspects of an artifact.⁷

Interaktion setzt also Interaktivität voraus, wobei Interaktivität als Eigenschaft von interaktiven Computern charakterisiert wird. Als solche ist sie eine technische Eigenschaft und sehr genau definierbar. So setzt eines der oben zitierten Lehrbücher vor die Definition von Interaktion als „Zusammenwirken [...] in interaktiven Rechneranwendungen“ den Satz: „Als *interaktiv* wird ein System bezeichnet, bei dem der Benutzer durch Bedienhandlungen den Arbeitsablauf des Systems beeinflussen kann.“⁸ Wobei sich der Begriff noch enger fassen lässt, wenn man ihn wieder auf Computer einschränkt und etwa schreibt: „Unter *interaktiven Anwendungen* werden jene Computerprogramme verstanden, die für Benutzer Eingriffsmöglichkeiten in ihren Kontroll- oder Datenfluss aufweisen.“⁹ Damit ist Interaktivität klar als technisches Kriterium definiert, das nur erfüllt oder nicht erfüllt sein kann.

Ist die Informatik zunächst damit zufrieden, all das Interaktion zu nennen, was mit interaktiven Computern getan wird, soweit es die Interaktivität dieser Computer voraussetzt, stürzt der Begriff andere Disziplinen doch in Verwirrung. Dies liegt vor allem daran, dass der Interaktionsbegriff bereits gebraucht wird, bevor er in der Informatik die Verankerung in der buchstäblich als *technical term* zu verstehenden Interaktivität erhält. Auch und vor allem deshalb, weil Interaktion zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts in der sich gerade formierenden Soziologie ebenfalls zu einem Fachausdruck wird, der hier aber gerade nicht technisch verankert ist. Bezeichnet Interaktion um 1900 noch ganz allgemein eine „Wechselwirkung“ relativ

6 Jennifer Preece, Yvonne Rogers und Helen Sharp. *Interaction Design. Beyond Human-Computer Interaction*. New York, NY: John Wiley & Sons, 2002, S. 7.

7 Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 5.

8 Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, S. 15, Hervorhebung im Original.

9 Christian Stary. *Interaktive Systeme. Software-Entwicklung und Software-Ergonomie*. Braunschweig: Vieweg, 1996, S. 34, Hervorhebung im Original.

unabhängiger Systeme miteinander, wird er mit dem Entstehen der wissenschaftlichen Soziologie zu einem wichtigen Begriff dieser jungen Disziplin.¹⁰ In den USA wird Interaktion schließlich von Herbert Blumer im „symbolischen Interaktionismus“ in das Zentrum einer soziologischen Theorie gestellt, die sich von zeitgenössischen Reiz-Reaktions-Modellen absetzen will, indem sie die Rolle von Interpretation als Mittler zwischen beiden betont.¹¹ Die Abgrenzung von Reiz-Reaktions-Modellen und die Betonung von Interpretation aber legt gerade auf die nicht-technische Verfasstheit soziologischer Interaktion Wert. Ihre Voraussetzung sind Subjekte: „Eine Interaktion im soziologischen Sinn bezieht sich immer auf *Kommunikation zwischen Menschen* [...]. Die Informatik hingegen versteht darunter die *Kommunikation zwischen Mensch und Maschine*.“¹²

Zwischen diesen Positionen befindet sich eine Kommunikationswissenschaft, die zwar einerseits von der Interaktion der Soziologie beeinflusst ist, die aber spätestens ab den 1980er Jahren die interaktiven Computer der Informatik nicht länger ignorieren kann und die daher maßgeblich vom Interaktionsbegriff der Informatik beeinflusst werden wird¹³. Die zunehmende Verbreitung interaktiver Computer befeuert nicht nur die Disziplinbildung der Human-Computer Interaction in den 1980er Jahren, Interaktivität wird aus dem Gebrauch in der Informatik heraus zur selben Zeit auch zum allgemein bekannten „buzzword“¹⁴, das dank seiner Wirkung auf die Massenmedien zum Thema der Kommunikationswissenschaften wird. Auf Grund seiner Allgegenwart scheint es zu dieser Zeit aber bereits keiner weiteren Erläuterung mehr zu bedürfen: „The common feeling is that interactivity [...] is something you know when you see it“¹⁵, fasst 1988 der Kommunikationswissenschaftler Sheizaf Rafaeli zusammen. In einer grundlegenden und bis heute wirksamen Diskussion dieses

10 Eine kurze Vorgeschichte des Begriffs liefert zum Beispiel Katja Kwastek. »The invention of interactive art«. In: *Artists as Inventors/Inventors as Artists*. Ostfildern: Hatje Cantz, 2008, S. 182–193, S. 183–184, vergleiche auch Lutz Goertz. »Wie interaktiv sind Medien?« In: *Interaktivität. Ein transdisziplinärer Schlüsselbegriff*. Frankfurt und New York, NY: Campus Verlag, 2004, S. 97–117, S. 98–99.

11 Kwastek, »The invention of interactive art«, S. 184.

12 Oliver Quiring und Wolfgang Schweiger. »Interaktivität – ten years after. Bestandsaufnahme und Analyserahmen«. In: *Medien und Kommunikationswissenschaft* 54 (2006), S. 5–24, S. 7, Hervorhebung im Original.

13 »In terms of media technologies [...] media researchers have not used the concept »interaction« for quite a while. [...] It was first with the use of the interaction concept in informatics that this began to change.« Jens F. Jensen. »'Interactivity' Tracking a New Concept in Media and Communication Studies«. In: *Nordicom Review* 19 (1998), S. 185–204, S. 190. Vergleiche auch Jens Schröter und Christian Spies. »Interface. Analoger Closed Circuit versus Digitale Interaktivität?« In: *Das Spiel mit dem Medium. Partizipation – Immersion – Interaktion*. Hrsg. von Britta Neitzel und Rolf F. Nohr. Marburg: Schüren Verlag, 2006, S. 104–116, S. 104.

14 Sheizaf Rafaeli. »Interactivity: From new media to communication«. In: *Sage Annual Review of Communication Research: Advancing Communication Science*. Beverly Hills, CA: Sage, 1988, S. 110–134, S. 111.

15 Ebd.

ebenso „intuitiven“ wie „unterdefinierten“¹⁶ Begriffs versucht Rafaeli ihn schließlich genauer zu fassen, indem er – ohne das explizit zu machen – auf Shannon zurückgreift: Interaktivität basiert hier auf dem Shannon'schen Kommunikationsmodell, mit der Erweiterung, dass Sender und Empfänger ihre Rollen tauschen können. Sie wird dann eine Eigenschaft der hin und her gesendeten Nachrichten: „*interactivity* is an expression of the extent that in a given series of communication exchanges, any third (or later) transmission (or message) is related to the degree to which previous exchanges referred to even earlier transmissions.“¹⁷

Hinter solch einer rekursiven Definition von Interaktivität steht zunächst vor allem eine Sicht, die von einem „impliziten Ideal der face-to-face-Kommunikation“¹⁸ ausgeht. Indem sie aber Interaktivität zur rekursiv definierten Eigenschaft eines Nachrichtenaustauschs macht, ist sie zugleich an technische Begrifflichkeiten anschlussfähig. Sie ist im Kontext einer Kommunikationswissenschaft zu lesen, die zwar an Kommunikation und nicht an Technologie interessiert ist, die aber bereits völlig selbstverständlich Kommunikation durch das technische Modell Shannons versteht – so selbstverständlich, dass Rafaeli dieses Verständnis stillschweigend voraussetzen kann. In einem anderen Punkt hebt sich diese Definition von Interaktivität aber deutlich von der der Informatik ab, weil Interaktion hier kein Kriterium sondern ein Kontinuum darstellt, und ein Nachrichtenaustausch nach Rafaeli mehr oder weniger interaktiv sein kann. Zumindest diese Folge von Rafaelis rekursiver Definition wird sich in den Kommunikationswissenschaften durchsetzen. Lutz Goertz etwa schreibt in einem ebenfalls einflussreichen Text unter dem Titel „Wie interaktiv sind Medien?“¹⁹: „Sinnvoller ist es hingegen Interaktivität als Kontinuum anzusehen“²⁰, wobei die verschiedenen Maße für Interaktivität, die diese Einsicht ermöglicht, bis heute diskutiert werden.²¹

Soziologie, Kommunikationswissenschaft und Informatik arbeiten also mit unterschiedlichen Interaktionsbegriffen. Und während die Interaktion der Soziologie weiter „das aufeinander bezogene Handeln von zwei oder mehreren Personen beschreibt“²², sind die Interaktionsbegriffe der letzten beiden in ihrer Konsequenz zwar sehr unterschiedlich, aber doch insofern im Konvergieren begriffen, als dass sich Interaktion hier auf Interaktivität gründet und sich auch in den

16 Ebd., S. 110.

17 Ebd., S. 111, Hervorhebung im Original.

18 Schröter und Spies, »Interface. Analoges Closed Circuit versus Digitale Interaktivität?«, S. 106.

19 Goertz, »Wie interaktiv sind Medien?«, S. 97.

20 Ebd., S. 102.

21 Einen Überblick liefert Jensen, »'Interactivity' Tracking a New Concept in Media and Communication Studies«. Vergleiche auch Quiring und Schweiger, »Interaktivität – ten years after. Bestandsaufnahme und Analyserahmen«, S. 21.

22 Trogemann und Viehoff, *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, S. 108.

Kommunikationswissenschaften, entgegen dem Vorschlag von Rafaeli, die Ansicht durchzusetzen scheint, dass Interaktivität eine Eigenschaft von Technologie ist.²³

Die Informatik, die für diese Sicht in den Kommunikationswissenschaften (mit-)verantwortlich ist, hat es da, wie oben gesehen, einfach: „Interaktivität bezieht sich lediglich auf die technische Fähigkeit eines Programms, während seiner Laufzeit neue Eingaben zu verarbeiten.“²⁴ Und den Computer, dessen Kontroll- und Datenfluss zur Laufzeit veränderlich ist, haben wir am Beispiel von *Whirlwind* bereits als Feedbackmaschine kennengelernt. Wenn damit auch die Frage nach der Konstellation von Meinungen, Werten und Methoden und den konkreten Fragestellungen, Problemlösungen und Vorbildern im Zentrum der Human-Computer Interaction nicht beantwortet ist, wird zumindest klar, dass hinter ihnen allen – und damit im Zentrum der wissenschaftlichen Disziplin – die technische Eigenschaft steht, die aus Turingmaschinen Feedbackmaschinen macht.

4.3 GENEALOGIEN DER INTERAKTION

Während Interaktivität also zumindest in der Informatik ein klarer Begriff zu sein scheint und die Interaktion mit interaktiven Rechnern sich unmittelbar daraus ableitet, bleibt der Begriff in der Human-Computer Interaction doch seltsam unbestimmt. Über die Feststellung hinaus, dass er den Umgang mit interaktiven Systemen betrifft, wird der Begriff selten beleuchtet und Arbeiten wie die von Svanæs stehen als Ausnahmen da. Die am weitesten verbreitete Präzisierung, die „Interaktion“ im Diskurs des Feldes über die Diskussion konkreter interaktiver Anwendungen hinaus für gewöhnlich erfährt, findet in Form einer Geschichtsschreibung statt, die den Begriff selbst immer schon voraus setzt. Hier steht Interaktion gewöhnlich als Überschrift über einer Fortschrittsgeschichte, in deren Kontext auch das „From Computing Machinery to Interaction Design“ von Winograd zu lesen ist. Diese Geschichte nimmt meist die Form einer Genealogie an.

Die verschiedenen Genealogien der Interaktion unterscheiden sich natürlich je nach Fokus und Ziel ihrer Autoren und erscheinen beispielsweise als Technikgeschichte einer Abfolge von Hardwaregenerationen, Ideengeschichte der Bedienkonzepte und Theorieentwürfe oder personalisierte Geschichtsschreibung der Visionen der Protagonisten des Feldes.

23 Jensen, »'Interactivity' Tracking a New Concept in Media and Communication Studies«, S. 190.

24 Trogemann und Viehoff, *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, S. 108.

Generation	Means of operation
First	Plugboards, dedicated setup
Second	Punched card batch, RJE
Third	Teletype timesharing
Fourth	Menu systems
Fifth	Graphical controls, windows

Tabelle 1: „User Interaction Generations“ nach Walker.

Eine frühe paradigmatische Erzählung solch einer Geschichte liefert John Walker, wobei er den Fokus auf die verwendete Hardware legt (Tabelle 1).

Seine Genealogie von fünf „User Interaction Generations“²⁵ beginnt mit den „plug boards“ und speziellen Hardwarekonfigurationen („dedicated set-ups“) von Rechnern, die noch keine frei programmierbaren Turingmaschinen im eigentlichen Sinn implementieren.²⁶

Darauf folgt die Generation frei programmierbarer Maschinen. Sie ist von einer Programmierpraxis geprägt, in der Maschinen- und Assemblercode in Lochkarten gestanzt wird, die vom Programmierer als Stapel über die Theke eines Rechenzentrums gereicht werden. Hinter der Theke werden sie von reinen Maschinenbedienern in den Computer gefüttert. Das Ergebnis muss dann später – meist in Form eines Ausdrucks – abgeholt werden. Wegen des Kartenstapels, in dem die Programme übergeben werden, heißt diese Art der Programmierung bis heute „Batch Processing“ oder Stapelverarbeitung.

Erst die dritte von Walkers Generationen der Interaktion ist interaktiv. Wie es sich für eine Generation gehört, ist sie Kind der vorhergehenden und vollständig in ihr angelegt: Als die Algorithmen zur effizienten Aufteilung der Rechenzeit auf die „batch jobs“ mehrerer Programmierer immer avancierter werden, setzt sich, so Walker, die Erkenntnis durch, dass eine weitere Aufteilung der Rechenzeit es möglich machen würde, mehreren Benutzern zur gleichen Zeit das Gefühl zu vermitteln, sie hätten den gesamten Computer zur exklusiven Verfügung. Die Idee des „Time Sharing“ teilt die Rechenzeit nicht länger nur zwischen einzelnen „batch jobs“, sondern zwischen Benutzern auf und gibt jedem von ihnen die Möglichkeit, in „conversational interactivity“ mit der Maschine zu treten.²⁷

Während die Unterhaltungen der Ära des *Time Sharing* noch textbasiert am Terminal stattfinden, lösen modernere Displays mit der Möglichkeit größere Mengen Text zu auswählbaren Menüs zusam-

25 John Walker. »Through the looking glass«. In: *The Art of Human-Computer Interface Design*. Redding, MA: Addison-Wesley, 1990, S. 439–448, S. 439.

26 Ebd., S. 439–440.

27 Ebd., S. 441.

menzufassen diese Generation in der vierten ab.²⁸ Die fünfte Generation erlaubt schließlich Interaktion mit grafischen Oberflächen. Damit einher geht die Entwicklung immer kleinerer Rechner, die bekanntermaßen schließlich samt virtuellem Desktop auf dem Schreibtisch einzelner Anwender landen.

Auch die wesentlich aktuellere „History of Interaction“ von Paul Dourish verläuft entlang einer ganz ähnlichen Trajektorie „from soldering to mouse“²⁹. Dourish legt den Schwerpunkt aber eher auf das Interagieren als auf die Technologien dafür. Hier entspricht die Zeit der „electrical interaction“, in der das Bedienen analoger und digitaler Rechenmaschinen gleichermaßen Arbeit mit ihren Schaltkreisen voraussetzt, Walkers Ära der „dedicated set-ups“. Es folgt die Ära der „symbolic“ und „textual interaction“, in der zunächst die mnemotechnischen Symbole der Assembler-Sprachen das Programmieren von Rechnern im Modus des *Batch Processing* erleichtern und schließlich die bis heute bekannten textbasierten Computerschnittstellen aufkommen. Nach dieser Phase erlauben grafische Benutzerschnittstellen eine „graphical interaction“, die anders als ihre Vorgänger nicht nur eben grafisch ist, sondern auch bald als „direct“ bezeichnet wird.

Larry Press liefert in seiner „History of Personal Computing“³⁰ schließlich eine Geschichtsschreibung, die sich vor allen Dingen an den Visionen und Leistungen bestimmter Forscher orientiert. Nach dieser Geschichte nimmt kein anderer als Bush in seiner Vision des *Memex* das interaktive Rechnen vorweg. Douglas Engelbart vollendet es erstmals, mit dem berühmten NLS, das wiederum durch die von Joseph C. R. Licklider geförderte Entwicklung von *Time-Sharing*-Systemen ermöglicht wird.³¹ Auch diese Genealogie führt in Stufen eines evolutionären Fortschritts von „batch processing“ über „timesharing“ zu „desktop“ und „portable computers“³².

Einige Stationen und Protagonisten dieser unterschiedlichen Genealogien werden hier noch eine Rolle spielen. Zunächst soll es aber um eine Gemeinsamkeit dieser Geschichten gehen: Alle kennen einen Ursprung der Interaktion. Während das Bedienen eines Rechners zur Zeit Walkers zweiter Generation noch *Batch Processing* bedeutet, wird in der dritten Generation mit dem *Time Sharing* interaktives Rechnen möglich. Dieser Übergang entspricht nach Dourishs Terminologie dem von symbolischer zur textbasierten Interaktion und auch er macht hier den selben Ursprung aus. Im Gegensatz zur Verwendung von Lochkarten ist erst die Arbeit mit den Terminals des *Time Sha-*

28 Walker, »Through the looking glass«, S. 441-442.

29 Zum Folgenden vergleiche Paul Dourish. *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. MIT Press, 2001, S. 1-17.

30 Larry Press. »Before the Altair: the history of personal computing«. In: *Communications of the ACM* 36.9 (1993), S. 27-33.

31 Ganz ähnlich verfährt bereits die „Historical and Intellectual Perspective“ in Baecker und Buxton, *Readings in human-computer interaction: a multidisciplinary approach*, S. 41-54.

32 Press, »Before the Altair: the history of personal computing«, S. 30, Tabelle 1.

ring wirklich interaktiv: „Arguably, this is the origin of »interactive« computing“³³.

4.4 TIME SHARING

Die Literatur zur Human-Computer Interaction ist sich über diesen Ursprung im Wesentlichen einig³⁴, die Vertreter von „Interactive Computation“ als Paradigma für die theoretische Informatik sehen dieses ebenfalls im Kontext einer Entwicklung „from number-crunching to embedded systems and graphical user interfaces“³⁵ und auch die Kommunikations- und Medienwissenschaften haben diese Sicht übernommen³⁶. Interaktives Rechnen ist eine historische Station, die mit dem *Time Sharing* den „arcane process“³⁷ der Stapelverarbeitung ablöst. Mit der *conversational interactivity*, die es ermöglicht, beginnt die Interaktivität: „In the beginning... was the command line.“³⁸

Die Entwicklung von *Time Sharing* hängt, wie von Press berichtet, tatsächlich wesentlich mit der Arbeit und Unterstützung Lickliders zusammen, der als einer seiner „geistigen Väter“³⁹ gilt:

In the spring of 1957, while he continued to carry out the duties of an MIT researcher and professor, Dr. J.C.R. Licklider noted every task he did during the day and kept track of each one. He didn't know it then, but that unofficial experiment prepared the way for the invention of interactive computing – the technology that bridged yesterday's number crunchers and tomorrow's mind amplifiers.⁴⁰

33 Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 10.

34 Neben den hier zitierten Autoren finden sich ähnliche Ansichten zum Beispiel bei Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 97, Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, S. 14-15, Dennis Mocigemba. »Die Ideengeschichte der Computernutzung. Metaphern der Computernutzung und Qualitätssicherungsstrategien«. Diss. Technische Universität Berlin, 2003, S. 103 oder Stary, *Interaktive Systeme. Software-Entwicklung und Software-Ergonomie*, S. 34.

35 Wegner, »Why interaction is more powerful than algorithms«, S. 81.

36 Goertz, »Wie interaktiv sind Medien?«, S. 98, Quiring und Schweiger, »Interaktivität – ten years after. Bestandsaufnahme und Analyse Rahmen«, S. 6, Schröter und Spies, »Interface. Analoges Closed Circuit versus Digitale Interaktivität?«, S. 107.

37 Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 135.

38 Neal Stephenson. *In the Beginning... was the Command Line*. New York, NY: William Morrow Paperbacks, 1999.

39 Michael Friedewald. »Konzepte der Mensch-Computer-Kommunikation in den 1960er Jahren: J. C. R. Licklider, Douglas Engelbart und der Computer als Intelligenzverstärker«. In: *Technikgeschichte* 67 (2000), S. 1–24, S. 2.

40 Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 132.

Hintergrund dieser Beschreibung, in deren „yesteryear’s number crunchers and tomorrow’s mind amplifiers“ wieder einmal die Fortschrittsgeschichte „from computing machinery to interaction design“ auftaucht, bildet ein Text von Licklider mit dem Titel „Man-Computer Symbiosis“⁴¹.

Licklider entwirft darin die Vision dieser Symbiose als „cooperative interaction“⁴² zwischen Mensch und Computer. Computer sollen nicht länger dem Abarbeiten vorformulierter Probleme im *Batch Processing* dienen, sondern bereits in das Formulieren der Problemstellungen einbezogen werden – und das in Echtzeit.⁴³ Die Motivation dazu bildet der oben angesprochene Selbstversuch: In absichtlicher oder unabsichtlicher Folge entsprechender Vorarbeiten in den Analysen der Arbeitswissenschaften und des Taylorismus⁴⁴ unterzieht sich Licklider einer „time-and-motion study“ seiner geistigen Arbeit. Sein Befund ist, dass er 85% seiner Arbeitszeit damit verbringt, die Voraussetzungen für das eigentliche Denken zu schaffen. Diese Zeit soll die Symbiose mit dem Computer verkürzen helfen.

Der Mensch soll in diesem Szenario von den Aufgaben befreit werden, die 85% seiner Arbeitszeit ausmachen ohne die eigentlich wichtigen Entscheidungen zu sein: „Information-processing equipment [...] will carry out the routinizable, clerical operations that fill the intervals between decisions“⁴⁵. Voraussetzung dieses „Real-Time Thinking“ ist dabei einerseits das gerade in der Entwicklung befindliche *Time Sharing*, andererseits müssen Probleme des „information retrieval“ und vor allem der Ein- und Ausgabe gelöst werden.⁴⁶ Eines der wichtigsten Probleme sieht Licklider dabei im „Language Problem“ und der automatischen Erkennung und Erzeugung von Sprache. Der Computer der „Man-Computer Symbiosis“ ist also ein *Time-Sharing*-System in Unterhaltung mit dem Menschen.

Natürlich schreibt Licklider diesen als wegweisend rezipierten Text nicht aus einer Eingebung heraus. Er arbeitet als Psychologe am Psychoakustiklabor des MIT und ist ständiger Gast am *Lincoln Lab*. Als Mitglied der „presentation group“ des Projekts *Whirlwind* ist er als Berater an der Entwicklung der Schnittstellen von *Whirlwind* und SAGE beteiligt.⁴⁷ Er ist also ein „früher Computerbenutzer“⁴⁸ und kann das Rechnen in Echtzeit kennenlernen, bevor er ihm zu allgemeiner Verbreitung verhelfen wird. Sein Text zur Symbiose verweist so auch

41 Joseph C. R. Licklider. »Man-Computer Symbiosis«. In: *IRE Transactions on Human Factors in Electronics* 1.1 (1960), S. 4–11.

42 Ebd., S. 4.

43 Ebd., S. 5–6.

44 Vergleiche hierzu beispielsweise Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 23–42.

45 Licklider, »Man-Computer Symbiosis«, S. 7.

46 Vergleiche hierzu ebd., S. 7–11.

47 Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 143.

48 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 120.

explizit auf die Abfangkurse des „tracking while scanning“ des SAGE⁴⁹. Und zu den Lösungen, die er für das Problem der Ein- und Ausgabe vorschlägt, gehören genau die „Desk-Surface Display Controls“ und das „Computer-Posted Wall Display“⁵⁰, die im SAGE bereits im Einsatz sind und deren Entwicklung die „presentation group“ unterstützt hat. Auch der Begriff „Time Sharing“ selbst wurde erstmals 1956 von Herbert Benington in einem Text über die Programmierung des SAGE benutzt.⁵¹ So wundert es nicht, dass die Vision der Mensch-Computer-Symbiose genau das ist, wozu Whirlwind geschaffen worden war: ein Digitalrechner, der nicht vorgefertigte Programme auf feststehenden Eingaben zur Ausführung bringt, sondern regelnd mit einer Umwelt wechselwirkt: „to enable men and computers to cooperate in making decisions and controlling complex situations without inflexible dependence on predetermined programs.“⁵²

Und so ist auch die Forderung Lickliders, der Computer solle „routinizable, clerical operations that fill the intervals between decisions“ übernehmen, bereits in dem internen Memo des *Lincoln Lab* vorformuliert, in dem 1953 der Test mit den Radaranlagen in Cape Cod beschrieben wird: „The human beings make decisions and improvise while the computer handles the routine tasks under their supervision.“⁵³

1957 wechselt Licklider vom MIT zur Firma Bolt, Beranek & Newman (BBN). Die Firma ist eine Gründung von Professoren des MIT und zunächst auf Beratung in Fragen der Psychoakustik spezialisiert, ihr erster Auftrag ist das Design der Akustik des Saals der Generalversammlung der Vereinten Nationen in New York. Ende der 1950er Jahre wird sie aber den ersten PDP-1-Computer der *Digital Equipment Cooperation* (DEC) kaufen, um darauf ein *Time-Sharing*-System zu entwickeln.⁵⁴ Der PDP-1 gilt als erster „Minicomputer“ und basiert direkt auf dem TX-0, der im wesentlichen eine transistorbasierte Weiterentwicklung *Whirlwinds* ist und ebenfalls am *Lincoln Lab* entsteht.⁵⁵ Der Weg zur „invention of interactive computing“ beginnt also nicht nur lange vor Lickliders Selbstversuch, an dieser Erfindung ist das „interactive computing“ sogar schon ganz konkret beteiligt.

Die meisten Autoren sind sich der Verwurzelung interaktiven Rechnens in den Entwicklungen vor und neben den Stationen ihrer Fortschrittsgeschichte(n) durchaus bewusst. Rheingold weist, nachdem er

49 Licklider, »Man-Computer Symbiosis«, S. 6-7.

50 Ebd., S. 9.

51 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 128.

52 Licklider, »Man-Computer Symbiosis«, S. 4.

53 Wieser, *Cape Cod System and Demonstration*, S. 2.

54 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 123.

55 Zur Genealogie von *Whirlwind* über TX-0 und TX-2 zu PDP-1 vergleiche ebd., S. 110-118.

Lickliders „religious conversion to interactive computing“⁵⁶ noch narrativ als Folge des Selbstversuchs im Frühling 1957 verankert hat, auf *Whirlwind* und SAGE hin.⁵⁷ Und auch Press hält unter Bezugnahme auf diese Entwicklung fest: „Interactive computing bloomed at MIT in the 1950s“⁵⁸, womit er klar macht, dass die von ihm skizzierten Entwicklungsstufen allenfalls als grob vereinfachtes Modell zu lesen sind. Auch der differenzierte Überblick zur Entwicklung der Human-Computer Interaction bei Hellige zeigt die „gegenläufigen Entwicklungslogiken“ und zeitlichen Überschneidungen und Asynchronitäten, die sich hinter der Fortschrittsgeschichte verbergen.⁵⁹

Obwohl aber die Entwicklung der HCI „nicht einfach einem wissenschaftlichen Stufenkonzept folgt“ oder einer „klar definierbaren [...] Eigenlogik“ unterliegt⁶⁰, verleiht die Fortschrittsgeschichte „from soldering to mouse“ der Human-Computer Interaction doch eine integrierende Erzählung, die mitunter so überzeugend ist, dass sie die komplexen Zusammenhänge und das gleichzeitige Nebeneinander der Stationen dieser Genealogien verdeckt. Die Tatsache, dass diese Geschichte der Interaktion normalerweise als Genealogie erzählt wird, macht darüber hinaus deutlich, dass hier entgegen der oben vorgenommenen Abgrenzung eine Intuition am Werk ist, die wir aus den Kommunikationswissenschaften kennen und nach der Interaktivität ein Kontinuum darstellt. Die Interaktivität nimmt von Stufe zu Stufe, von Generation zu Generation zu: *Time Sharing* ist interaktiver als *Batch Processing* und weniger interaktiv als *Graphical* oder *Direct Interaction*.

Falsch ist dieser *standard account* der Geschichte der Interaktion, der ihren Ursprung um 1960 setzt und ihn mit der Person Licklider verknüpft, trotz dieser Verkürzung aber nicht. Zwar nimmt *Whirlwind* das interaktive Rechnen vorweg und Licklider kann es sogar an *Whirlwind* und SAGE kennen lernen, bevor er es zum Programm erklärt und damit ausformuliert, was zu seiner Zeit ohnehin passiert. Nichtsdestotrotz ist es gerade dieses Ausformulieren, was der Entwicklung einer Human-Computer Interaction entscheidende Impulse geben wird und der Idee erst zu Bewusstsein verhilft, dass es sich bei der Frage nach der Bedienung von Computern tatsächlich um ein eigenes disziplinäres Feld handeln könnte. „Das MCI-Erneuerungsprogramm von Joseph C. R. Licklider beruhte auf praktischen Erfahrungen mit Computern und Time-Sharing-Versuchen, auf einer Auswertung des SAGE-Projektes sowie auf einer ganzen Reihe von eigenen Aufsätzen und State-of-the-Art-Reports über Interfaces und

56 Ein Ausdruck, den Licklider selbst gebraucht hat. Vergleiche Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 136-138.

57 Ebd., S. 142-146.

58 Press, »Before the Altair: the history of personal computing«, S. 28.

59 Hellige, »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«, S. 15-20.

60 Ebd., S. 17.

Computer-Bedienung. All dies verdichtete er in theoretischen Studien und Grundsatzartikeln, von denen einige wie »Man-Computer Symbiosis« von 1960 Leitbild-Funktion für das Interactive Computing erhielten⁶¹. Solche Leitbilder „bündeln“ in der Technikgeschichte wiederholt „[...] die Intentionen, das Wissen und die Erfahrung der Menschen darüber, was ihnen einerseits als machbar und andererseits als wünschenswert erscheint“⁶². Mit Licklider kommen Entwicklungen, die von Ingenieuren mit der pragmatischen Selbstverständlichkeit eines „one of the things that I think we did first“⁶³ gemacht wurden, in einem Programm des Wünschenswerten und Möglichen zusammen: „All of the MIT engineers using them [die interaktiven Computer] understood the value of interaction, but J. C. R. Licklider spread the vision.“⁶⁴ Er bekommt in der Entwicklungsgeschichte der Human-Computer Interaction damit die Funktion eines „Torwächters“ oder *gatekeeper*, dessen „Vermittlerrolle zwischen Akteuren aus unterschiedlichen Wissenskulturen [...] zu einem besseren Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die praktische Verwendung“ beiträgt⁶⁵.

Diese Rolle füllt Licklider nicht nur ideell oder durch seine Zusammenarbeit mit den Akteuren am MIT und BBN aus. 1962 bekommt er die Leitung des neuen *Information Processing Techniques Office* (IPTO) der ARPA übertragen und befindet sich nun in einer Position, von der aus er diese Vision ganz konkret vorantreiben kann.⁶⁶ So wird die Abteilung unter seiner Leitung das *Project MAC* am MIT unterstützen, das zunächst als *Multi Access Computer* an *Time-Sharing*-Systemen arbeiten wird, um später als *Machine Aided Cognition* die Keimzelle des *Artificial Intelligence Labs* zu werden. Auch die Arbeit von Douglas Engelbart am *Stanford Research Institute*, die hier noch eine Rolle spielen wird, wird durch Licklider gefördert. „Aufgrund dieser Anstöße und der optimalen Innovationsbedingungen kam es zu dem erstaunlichen Sachverhalt, dass im Laufe nur eines Jahrzehnts ein Großteil der physikalischen Intermedien und Software-Interfaces entstanden, die noch heute die Grundlage des interaktiven Computing ausmachen“⁶⁷. Der Prozess der Disziplinbildung der HCI kommt ins Rollen und vor allem bekommt das, was bisher einfach Folge technischer Notwendigkeiten und Anwendungsanforderungen war den Status eines eigenen Gegenstands der Untersuchung – und einen Namen: Interaktion.

61 Ebd., S. 38.

62 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 23.

63 Everett, »Whirlwind«, S. 375.

64 Press, »Before the Altair: the history of personal computing«, S. 28.

65 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 121.

66 Ebd., S. 125-127.

67 Hellige, »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«, S. 41.

4.5 INTERAKTION UND ZEICHEN

4.5.1 *Der Interaktionsbegriff*

Auch das Auftauchen des *Interaktionsbegriffs* scheint ungefähr mit dem der Technologie des *Time Sharing* zusammen zu fallen – die „invention of interactive computing“ bestimmt daher zumindest den ungefähren Zeitpunkt der Prägung dieses Namens. Wenn Licklider 1960 seinen Text mit den Worten eröffnet: „Man-computer symbiosis is an expected development in cooperative interaction between men and electronic computers“⁶⁸, dann wird hier zu einem der ersten Male im Kontext der Informatik von Interaktion in dem Sinne gesprochen, der bis heute gültig ist. Zu Beginn der 1950er Jahre gibt es noch „keine feste Bezeichnung“⁶⁹ für das Bedienen von Computern in Echtzeit. Turings berühmter Aufsatz „Computing Machinery and Intelligence“⁷⁰, der als ein Gründungsdokument der künstlichen Intelligenz gilt und in dem der „Turing-Test“ ganz im Sinne Walkers „conversational interactivity“ als Dialog mittels Kommandozeile (beziehungsweise Fernschreiber) vorgeschlagen wird, spricht vom Kommunizieren, nicht vom Interagieren. Und auch in den 1960er Jahren ist der Begriff der „Kommunikation“ noch immer genau so verbreitet wie der der „Interaktion“ – was auch am Einfluss Shannons auf die frühe Informatik liegen mag.

Erstaunlicherweise benutzt Licklider den Begriff aber ganz beiläufig, im Schatten des Begriffs der Symbiose, den er im Gegensatz zum Interaktionsbegriff explizit begründet und einführt. Und obwohl die direkte Rezeption Lickliders nicht müde wird, seine Einführung der Symbiose ausführlich zu zitieren⁷¹, wird nicht er sondern der Interaktionsbegriff anschließend eine zentrale Kategorie des Informatikdiskurses werden und sogar einer eigenen Disziplin zu Grunde liegen, während der Symbiose keine solche Karriere gegönnt ist. Fast scheint es, als wäre „Interaktion“ schon zuvor etabliert gewesen und bedürfe keiner weiteren Erläuterung – als „something you know when you see it“.

Der Schlüssel für die Selbstverständlichkeit mit der Licklider plötzlich von Interaktion spricht und mit der dieser Begriff sich anschließend durchsetzt, könnte paradoxerweise gerade in der Bedeutung liegen, die er in der Soziologie hat und die wir von seiner Bedeutung in der Informatik gelöst haben: Denn seinem Auftauchen in der

68 Licklider, »Man-Computer Symbiosis«, S. 4.

69 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 97.

70 Allan M. Turing. »Computing Machinery and Intelligence«. In: *Mind* 59 (1950), S. 146–184.

71 Zum Beispiel Baecker und Buxton, *Readings in human-computer interaction: a multidisciplinary approach*, S. 41, Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 141 oder Press, »Before the Altair: the history of personal computing«, S. 28.

Informatik scheint ein Bild zu Grunde zu liegen, das den Computer als Konversationspartner im Dialog zwischen interpretierenden Subjekten begreift und das gerade deshalb offen ist, für den Interaktionsbegriff des symbolischen Interaktionismus. Die „conversational interactivity“ des *Time Sharing* ist vielleicht mehr als bloße Metapher und nicht zufällig betont Licklider die Rolle von Spracherkennung und Spracherzeugung als Voraussetzung seiner Symbiose. Bereits die Formulierung des Turing-Tests zeigt, wie selbstverständlich der Computer von Anfang an als Dialogpartner begriffen wird.

Dem Umgang mit Computern wohnt augenscheinlich eine Komponente inne, die uns verleitet davon auszugehen, dass „der Computer und sein Benutzer gleichberechtigte Partner sein müssten und die notwendige Kommunikation deshalb vor allem zwischen Partnern abläuft“⁷². Irgendwie scheint der Dialog zwischen Mensch und Computer ein Dialog unter Gleichen zu sein. Was an ein Problem rührt, das nicht nur den Kern des Problemfeldes der Human-Computer Interaction bildet, sondern vielleicht auch der Informatik insgesamt.

4.5.2 Das algorithmische Zeichen

Kurz nach Beginn des neuen Jahrtausends und etwa zu der Zeit in der Svanæs nach dem Wesen der Interaktion fragt, stellt Frieder Nake eine ganz ähnliche Frage wie die nach dem Kuhn'schen Paradigma der Human-Computer Interaction. Allerdings stellt er diese Frage „[n]ach gut dreißig Jahren akademischer Disziplin“ der Informatik als Ganzes:

Wenn eine wissenschaftliche Disziplin durch Stellen, Studiengänge, Institute, Konferenzen, Zeitschriften, Lehrbücher, durch Namen und Berufsbezeichnungen etabliert ist, wenn es (unter heutigen Umständen) ihren Propagandisten gelungen ist, Finanzmittel zu binden und fließen zu lassen, dann ist es an der Zeit, sich nach den üblicherweise von einer akademischen Disziplin zu erwartenden Merkmalen zu fragen. Was sind Deine kennzeichnenden Fragen? Welche Methoden erlaubst Du und welche Begriffe bildest Du zu ihrer Beantwortung? Welche Ergebnisse hast Du vorzuweisen?⁷³

Wer so fragt, wird wahrscheinlich nicht mit dem erwartbaren Verweis auf die theoretische Informatik und damit die Mathematik ant-

⁷² Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 152.

⁷³ Frieder Nake. »Das algorithmische Zeichen«. In: *Informatik 2001: Wirtschaft und Wissenschaft in der Network Economy – Visionen und Wirklichkeit. Tagungsband der GI/OCG Jahrestagung*. Hrsg. von Kurt Bauknecht, Wilfried Brauer und Thomas A. Mück. Bd. 2. Wien: Universität Wien, 2001, S. 736–742, S. 736.

worten. Und es ist auch nicht der ingenieurswissenschaftliche „systems-engineering approach“⁷⁴ hinter dem Projekt *Whirlwind*, auf den Nike hinaus will.⁷⁵ Im Zentrum der Informatik sieht er vielmehr eine Geisteswissenschaft. Sie soll die gemeinsame Sprache liefern, die der Informatik zu fehlen scheint, wenn man von ihren *tatsächlichen* Problemen und Praktiken ausgeht.

Denn weder bildet die theoretische Informatik heute den zentralen Kern der tatsächlichen Arbeit in dieser Disziplin, noch ist es in erster Linie die Technik der konkreten Maschinen. Mit der zunehmenden Standardisierung dieser Maschinen wandert die eigentliche Funktionalität von Computern in die jeweiligen Programme, die darauf laufen. Und im Gegensatz zum Begriff des Algorithmus, der ja gerade keine spezifische Maschine betrifft, hat sich für die konkret auf einem Maschinentyp (der Hardware) umgesetzten Algorithmen, zusammen mit den von ihnen verarbeiteten Daten, der Begriff der „Software“ durchgesetzt.

Mit diesem Übergang ändert sich zwar nichts Grundsätzliches am Status von Algorithmen, es wird aber klar, dass Maschinen und ihre realweltliche Materialität und Situiertheit wesentlicher Teil ihrer Wahrnehmung werden und das Feld der theoretischen Informatik nicht nur durch die Unterbrechbarkeit praktisch aller tatsächlich gebauten Computer überschritten wird. Denn „Software“, schreibt Nike, „ist einerseits *Text*, andererseits *Maschine*.“⁷⁶ Ihre „Lesbarkeit“ als Text betrifft dabei nicht nur den Quelltext (obwohl auch für ihn bereits diese Zweiseitigkeit gilt), im alltäglichen Gebrauch ist es vor allem ihre Ausführung, die „gelesen“ und interpretiert wird. Denn dank der konkreten Maschine und ihrer Ein- und Ausgabegeräte bedeutet das Ausführen einerseits das maschinelle Arbeiten einer symbolischen Maschine, andererseits werden dessen Ergebnisse und Zwischenergebnisse von Menschen wahrgenommen und interpretiert – Menschen, die im Falle der Feedbackmaschine auf Grundlage dieser Interpretation auch noch in den ablaufenden Vorgang eingreifen können. Auf Seite des menschlichen Umgangs mit dem Ablaufen symbolischer Maschinen begegnen wir daher einem völlig anderen Symbolbegriff als dem mathematischer Kalküle. Und hier findet Nike die Antwort auf seine Frage nach dem Zentrum der Informatik: in der Semiotik und dem Zeichenbegriff im Anschluss an Charles S. Peirce.

Zeichen

Zeichen zeichnen sich dadurch aus, dass sie für etwas stehen, das sie nicht sind: Ein Wort bezeichnet einen Gegenstand, ein Buchstabe auf

⁷⁴ Redmond und Smith, *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*, S. 138.

⁷⁵ Zu Ausbildung der deutschen „Informatik“ und amerikanischen „Computer Science“ und der dort weitgehend fehlenden Theoriebildung vergleiche auch Coy, »Zum Streit der Fakultäten. Kybernetik und Informatik als wissenschaftliche Disziplinen«.

⁷⁶ Nike, »Das algorithmische Zeichen«, S. 737, Hervorhebung im Original.

den Bildschirmen des SAGE ein Radarecho, das wiederum für ein Flugzeug stehen könnte. Die Semiotik als Wissenschaft der Zeichen hat unterschiedliche Wurzeln, von denen die Arbeiten Ferdinand de Saussures und Peirces zu den wichtigsten gehören.⁷⁷ De Saussure fasst Zeichen ganz im Sinne des Für-Etwas-Stehens auf, indem er sie als zweistellige Relation untersucht. Das (anwesende) Bezeichnende nennt er „Signifikant“, das (abwesende) Bezeichnete „Signifikat“. Zeichen sind so das Zusammenspiel von Wort und Gegenstand, Buchstabe und Flugzeug.

Peirce bietet dagegen einen komplexeren Zeichenbegriff an: Hier ist die Relation dreistellig. Sie wird ebenfalls von Bezeichner (dem „Repräsentamen“) und bezeichnetem „Objekt“ gebildet, sie trägt aber der Tatsache Rechnung, dass das Objekt nie unabhängig von einem bedeutungsgebenden Kontext zugänglich ist. Das Repräsentamen wird von einem Subjekt interpretiert und erhält in dessen Kontext eine Bedeutung, die sein „Interpretant“ ist. Für das Personal des SAGE sind die Buchstaben (die Repräsentamen) auf ihren Bildschirmen Freunde, Feinde und manipulierbare Objekte eines Handlungskontexts, die mit der Light-Gun angefasst werden können. Erst so kommen sie, für jeweils denjenigen, der mit ihnen umgeht, zu ihrer Bedeutung. „Wenn das Zeichen im Repräsentamen abgekürzt handgreiflich erscheint, so wird es im Interpretanten als Sinn, Absicht, Bedeutung zusammengefaßt.“⁷⁸ Der „pragmatische Zusammenhang“⁷⁹ des Umgangs mit den Repräsentamen erzeugt den Interpretanten. Das Objekt als Abwesendes bleibt dagegen „metaphysisch“⁸⁰. Es existiert nur insofern, als dass es einem Subjekt als Interpretant vermittelt wird.

Zeichen sind so nicht nur als dreistellige Relation aus Repräsentamen, Objekt und Interpretant definiert. Die Definition des Interpretanten als Produkt eines kontextuellen Interpretierens hat auch zur Folge, dass der Zeichenbegriff rekursiv wird: Denn „um zu bestimmen, was das Interpretans [als deutsche Übersetzung von „Interpretant“ bei Eco] eines Zeichens ist, muß man es mittels eines anderen Zeichens benennen, das seinerseits ein anderes Interpretans hat, welches mit einem weiteren Zeichen benannt werden kann und so fort.“⁸¹ In diesem Sinne schreibt Peirce: „Dies bedeutet, daß der Interpretant selbst ein Zeichen ist, das ein Zeichen desselben Objektes bestimmt und so fort ohne Ende.“⁸² Zeichen befinden sich daher immer in einem unabgeschlossenen Prozess unendlicher Semiose.

77 Umberto Eco. *Einführung in die Semiotik*. München: Wilhelm Fink Verlag, 1972 [1968], S. 28.

78 Nike, »Das algorithmische Zeichen«, S. 739.

79 Ebd.

80 Eco, *Einführung in die Semiotik*, S. 77.

81 Ebd.

82 Charles S. Peirce. *Phänomen und Logik der Zeichen*. 4. Aufl. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1998, S. 64.

Dieser dreistellige und inhärent rekursive Zeichenbegriff ist ein mächtiges Beschreibungswerkzeug, das die Semiotik, so Umberto Eco, erst „zu einer strengen Wissenschaft der Kulturphänomene“ macht und das „zeigt, wie die Kommunikation vermittelt eines Systems kontinuierlicher Kommutionen durch das Verweisen von Zeichen zu Zeichen – wie die Asymptote, die die kulturellen Einheiten niemals »berührt« – die kulturellen Einheiten umschreibt, die andauernd als Gegenstand der Kommunikation vorausgesetzt werden.“⁸³

Algorithmische Zeichen

Die Buchstaben auf den Bildschirmen des SAGE werden also als Zeichen interpretiert und sind so Teil eines semiotischen Prozesses. Zugleich aber sind sie Resultat und – sobald sie von einem *operator* manipuliert werden – Voraussetzung eines Rechenprozesses. Dies ist die Zweiseitigkeit von Software, auf die Nake verweist: Software ist Text der gelesen und ausgeführt werden kann:

Die Frage nach einer stabilen und soliden theoretischen Begründung von Informatik, Software und vielleicht auch Softwaretechnik lässt sich semiotisch befriedigend beantworten. Die Antwort ist überraschend schlicht. Wir haben in Software eine *besondere Art von Zeichen* vor uns. Diese Zeichen werden stets und ständig und unausweichlich auf doppelte Weise interpretiert, vom Menschen einerseits, vom Computer andererseits, gleichzeitig und konkurrierend.⁸⁴

Das dreistellige Zeichen, gebildet als Relation von Repräsentamen, Objekt und Interpretant, das an der „Oberfläche“ des Rechners zu sehen (oder genauer: wahrzunehmen) ist, bekommt so eine zweite Seite an dessen „Unterfläche“⁸⁵. Aber während an der Oberfläche ein interpretierender Benutzer den Interpretanten als Zusammenhang von Repräsentamen und Objekt erzeugt, tut dies an der Unterfläche ein Rechner. Der Rechenprozess, in dem dies geschieht, ist aber fundamental vom Prozess der Interpretation verschieden: Er ist deterministisch und erfolgt ohne jegliche Freiheit, die nicht vorprogrammiert worden ist. „Im Interpretanten [...] unterscheiden wir seine intentionale Seite (beim Menschen) von seiner kausalen Seite (beim Computer).“⁸⁶ Dabei gilt: „Interpretation findet durch Herstellen und Auswählen von Kontext statt. Determination findet im Rahmen eines ge-

83 Eco, *Einführung in die Semiotik*, S. 78.

84 Nake, »Das algorithmische Zeichen«, S. 739, Hervorhebung im Original.

85 Frieder Nake. »Zeigen, Zeichnen und Zeichen. Der verschwundene Lichtgriffel«. In: *Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung*. Hrsg. von Hans Dieter Hellige. Bielefeld: transcript, 2008, S. 121–154, S. 148.

86 Nake, »Das algorithmische Zeichen«, S. 740.

setzten und unverrückbaren Kontextes statt, des Kontextes der Berechenbarkeit nämlich.“⁸⁷ Menschlicher Interpretation tritt so rechnende „Determination“⁸⁸ oder „Exekution“⁸⁹ an die Seite. Dabei „fallen Interpretant und Objekt zusammen.“ und „Die Bedeutungsrelation geht auf in der Bezeichnungsrelation.“⁹⁰ Diese „besonderen“ bedeutungslosen Zeichen an der Unterfläche nennt Peirce „Signale“. Das Zusammenspiel von Signal an der Unterfläche und Zeichen an der Oberfläche nennt er „algorithmisches Zeichen“.

Peirce unterteilt seinen Zeichenbegriff weiter und führt dabei (unter anderem) eine Klassifikation ein, die hier schon mehrfach implizit benutzt wurde: Nach ihr lassen sich Zeichen in „Ikon“, „Index“ und „Symbol“ unterteilen⁹¹. Diese Unterteilung detailliert das jeweilige Verhältnis von Repräsentamen und Objekt.⁹² Bei ikonischen Zeichen ist dieses Verhältnis eines der Ähnlichkeit⁹³: Bilder, die dem Dargestellten visuell ähneln fallen genau so in diese Kategorie, wie Diagramme, die dem Dargestellten strukturell entsprechen oder Beispiele, die eine Ähnlichkeit auf intellektueller Ebene konstruieren⁹⁴. Die Repräsentamen indexikalischer Zeichen besitzen dagegen einen noch direkteren Bezug zu ihrem Objekt. Dieser Zusammenhang ist meist ein kausaler, wenn etwa ein nasser Fleck bezeichnet, dass hier zuvor Wasser gefallen sein muss⁹⁵ oder wenn ein Foto über das Licht, das es erzeugt hat, kausal mit dem abgebildeten Objekt verknüpft ist⁹⁶. Symbole schließlich sind rein konventionell. Ein Wort wird zum Beispiel nur als Bezeichner für ein Objekt verwendet, weil sich „der Sprecher gewiß ist, daß es so interpretiert werden wird“ wie er es beabsichtigt⁹⁷ – und gewöhnlich nicht, weil ein Wort dem Bezeichneten ähnelt oder es kausal von ihm abhängt.⁹⁸

Es ist dieses „Index“, auf das Peirce verweist, wenn er vom indexikalischen Zusammenhang vom Rechnen und seiner materiellen Entsprechung im *Differential Analyzer* spricht, und das sich auf alle Systeme der klassischen Regelungstechnik anwenden lässt. Ein direkter kausaler Zusammenhang verknüpft die Rotation einer Achse mit der

87 Ebd.

88 Ebd.

89 Trogemann, »Code und Material«, S. 19.

90 Peirce, »Das algorithmische Zeichen«, S. 740.

91 Peirce, *Phänomen und Logik der Zeichen*, S. 64-67.

92 Vergleiche hierzu die schematische Darstellung in Eco, *Einführung in die Semiotik*, S. 198.

93 Ebd., S. 200.

94 Peirce, *Phänomen und Logik der Zeichen*, S. 64-65.

95 Eco, *Einführung in die Semiotik*, S. 198-199.

96 Peirce, *Phänomen und Logik der Zeichen*, S. 65.

97 Ebd., S. 66, Hervorhebung im Original.

98 Natürlich sind Zeichen wahrscheinlich nie eindeutige Vertreter einer dieser Klassen alleine. So weist Peirce darauf hin, dass Fotografien ikonisch und indexikalisch zugleich sein können, ebd., S. 65. Eco diskutiert sogar, ob nicht alle Zeichen zu einem gewissen Grad konventionell und damit symbolisch sind. Eco, *Einführung in die Semiotik*, S. 199.

Zahl einer Berechnung und es gilt: „The content of analog representations is determined by certain of their intrinsic properties – those that ground the physical analogy between the computer and the system it represents.“⁹⁹ Jeder menschliche Eingriff in diese Berechnung beinhaltet zwar eine Interpretation des betreffenden, als Zeichen aufgefassten, physikalischen Vorgangs, er beinhaltet aber auch zwangsläufig ein Sich-Einlassen auf diesen Vorgang – was unmittelbar in die Rolle des *human being as a servo* mündet. Der Zusammenhang zwischen elektromechanischen Sachverhalten und ihrer Lesbarkeit wird hier vor allem durch die Physik der Berechnungsinstrumente bestimmt und ist alles andere als frei wählbar: „This entails that analog representations [...] stand in a *non-arbitrary* physical relationship to the things they represent.“¹⁰⁰

Die Symbole, auf die sich Krämers Begriff der „symbolischen Maschinen“ bezieht, sind zunächst nicht als symbolisch im Peirce’schen Sinne zu verstehen. Vielmehr spricht sie, ganz in der mathematisch-logischen Tradition die sie untersucht, von solchen Symbolen, die ausschließlich innerhalb des regelgeleiteten Schließens im Rahmen eines Kalküls von Bedeutung sind. Die (Schrift-)Zeichen dieser Kalküle sind, so Krämer „[n]icht nur Zeichen, auch Technik.“¹⁰¹ Die „Verselbstständigung der Zeichen“¹⁰² innerhalb formaler Systeme meint aber genau das, was Nake als die Determination der „Signale“ auf der kausalen Unterfläche von Rechnern beschreibt. Technische Symbolmanipulation ist in symbolischen Maschinen eindeutig vom Interpretieren von Zeichen getrennt. „In der operativen Schrift des arithmetischen Kalküls können Lesen und Verstehen, Schreiben und Interpretieren auseinander treten.“¹⁰³

Am Ende ihrer Untersuchung der Geschichte der Formalisierung kommt Krämer aber darauf zu sprechen, was passiert, wenn diese getrennten Vorgänge wieder zusammenkommen und die Symbole symbolischer Maschinen interpretiert werden: „Sobald Symbole, die als Grundzeichen eines Kalküls, also als Elemente einer formalen Sprache fungieren und eine intrasymbolische Bedeutung haben, extrasymbolisch gedeutet werden im Sinne des »Für-etwas-Stehen«, so ist das, wofür sie stehen, Bestandteil einer symbolischen Realität.“¹⁰⁴

99 Gerard O’Brien und Jon Opie. »Representation in Analog Computation«. In: *Knowledge and Representation*. Hrsg. von Albert Newen, Andreas Bartels und Eva-Maria Jung. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2011, S. 109–128.

100 Ebd., Hervorhebung im Original.

101 Sybille Krämer. »‘Operationsraum Schrift’: Über einen Perspektivenwechsel in der Betrachtung der Schrift«. In: *Schrift. Kulturtechnik zwischen Auge, Hand und Maschine*. Hrsg. von Gernot Grube, Werner Kogge und Sybille Krämer. München: Fink, 2005, S. 23–61, S. 29.

102 Trogemann und Viehoff, *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, S. 42.

103 Krämer, »‘Operationsraum Schrift’: Über einen Perspektivenwechsel in der Betrachtung der Schrift«, S. 30.

104 Krämer, *Symbolische Maschinen*, S. 183.

Die „symbolische Realität“ und „symbolische Maschine“ beziehen sich so auf die beiden Seiten des algorithmischen Zeichens: Oberfläche und Unterfläche. Das Wort „Symbol“ wird dabei einmal technisch verwendet, um die operativen Zeichen eines Kalküls zu bezeichnen, und einmal im Sinne der Peirce'schen Semiotik.

Hier vollzieht sich die Wendung, die mit Nake die Semiotik in das Zentrum der Informatik rückt. Sobald nämlich das maschinelle Rechnen an der Unterfläche eines *Whirlwind* oder SAGE so dargestellt wird, dass die Lichterscheinungen auf den Mattscheiben von Kathodenstrahlröhren nicht länger nur, wie in der Williams-Tube, operativer Bestandteil und indexikalisches Korrelat dieses Rechnens sind, sondern wenn diese Lichterscheinungen gezielt ausgewählt und in Form gebracht wurden, um als Zeichen für etwas zu stehen, sind sie Gegenstand eines interpretierten und determinierten Vorgangs zur gleichen Zeit, dessen Zeichenfunktion, anders als es bei der Interpretation einer rotierenden Achse der Fall ist, in erster Linie als Konvention funktioniert. Sie führen damit nicht nur ein Doppelleben auf der Oberfläche und Unterfläche des Rechners und sind Zeichen und Signal zur gleichen Zeit. Als Zeichen sind sie darüber hinaus eindeutig „symbolisch“. Zwar ist auch die Erscheinung an der Oberfläche durch die Abläufe an der Unterfläche determiniert, diese Determination ist aber Folge einer bewussten Auswahl. Sie wurde programmiert und ist innerhalb der Grenzen der Theorie der Berechenbarkeit auf der einen und der materiellen Möglichkeiten von Bildschirmen und anderen Ausgabegeräten auf der anderen Seite frei. „Symbols stand in an *arbitrary* physical relationship to the things they represent. Consequently, the content of the representations in a digital computer cannot be determined by their intrinsic properties.“¹⁰⁵

Natürlich besteht diese Freiheit zu einem gewissen Grad auch in jedem analogen *instrument*. Und umgekehrt sind die Interfaces des digitalen Rechnens selbst immer anteilig analog und von der Notwendigkeit der Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandlung gekennzeichnet. Während die Entkopplung von Mechanismus und Zahl, Verstärker und Sprache und schließlich Material und Signal bereits in den Schaltungen und Mechanismen der Nachrichten- und Regelungstechnik voranschreitet, nehmen aber auch die Freiheitsgrade der Abbildung des Rechnens auf dessen Darstellung zu. Und so wie diese Trennung im maschinellen digitalen Rechnen, dessen Voraussetzung sie bildet, ihren Höhepunkt findet, erreicht auch die Entkopplung von Rechnen und Darstellung hier ihren Höhepunkt. In *Whirlwind* sind die Freiheitsgrade der willkürlichen Gestaltung von Zeichen an der Oberfläche von substantiell anderer Größe, als die Freiheitsgrade, die bei der elektromechanischen Kopplung eines Servomechanismus an die Rotation des Wattstundenmeters im *Product Integrator* bestehen.

¹⁰⁵ O'Brien und Opie, »Representation in Analog Computation«, Hervorhebung im Original.

Statt indexikalisch Rechengvorgänge oder Speicherzustände abzubilden, *muss* das digitale Rechnen also verborgen und willkürlich in etwas anderes übersetzt werden. Die „Zwischenfläche“, das Interface, als der Ort, an dem Zeichen und Signal zusammenkommen, ist damit der Ort, an dem das Verhältnis von Rechnen und dessen Sicht- oder Wahrnehmbarkeit symbolisch wird, um brauch- und verstehbar zu sein. „Wollte man von »Interface« sprechen, so müsste dieser Begriff tiefergelegt werden und jene Verfahren bezeichnen, die sich *zwischen* das indexikalische Verhältnis von Daten und Display schieben. Interface wäre (in Hard- und Software) schon all das, was Datenverarbeitung in einer Doppelbewegung zugleich *unsichtbar* macht und auf andere Weise wieder *erscheinen* lässt. Ebenso wäre – in umgekehrter Richtung – Interface das, was aus Eingaben Daten macht, und dabei bewirkt, daß die Eingaben nicht mehr die Daten *sind*.“¹⁰⁶

Nake hat ausführlich gezeigt, dass dem maschinellen Rechnen eine dreifache Reduktion zu Grunde liegt¹⁰⁷ – man könnte hier auch von Abstraktion sprechen¹⁰⁸. Die Reduktion oder Abstraktion bezeichnet Nake als „Maschinisierung von Kopfarbeit“¹⁰⁹. Die dreifache Reduktion gliedert sich nach einer Darstellung von Nake und Susanne Grabowski zum Beispiel in:¹¹⁰

- Eine semiotische Reduktion, die einen Teil der Umwelt in eine Beschreibung überführt, die ihrer Natur nach semiotischen Charakter hat: „descriptions replace things.“
- Eine syntaktische Reduktion oder „Formalisierung“¹¹¹, die diese Beschreibung von allen semantischen Aspekten befreit und eine formale Beschreibung zurücklässt.
- Und zuletzt eine algorithmische Reduktion oder „Algorithmisierung“¹¹², die die formale Beschreibung in eine berechenbare Funktion überführt.

¹⁰⁶ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 51, Hervorhebungen im Original.

¹⁰⁷ Frieder Nake und Susanne Grabowski. »Human-computer interaction viewed as pseudo-communication«. In: *Knowledge Based Systems* 14.8 (2001), S. 441–447, S. 442, Nake, »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«, S. 168–170.

¹⁰⁸ Trogemann, »Code und Material«, S. 19.

¹⁰⁹ Nake und Grabowski, »Human-computer interaction viewed as pseudo-communication«, S. 442. Krämer spricht entsprechend vom Delegieren von Geistestätigkeit an eine Maschine: „Denn die exteriorisierte algorithmisierte Rechenoperation ist eine Form von »Geistestätigkeit«, die sich von Bewusstseinsprozessen, also vom Mentalen entkoppeln und an eine Maschine delegieren lässt.“ Krämer, »'Operationsraum Schrift': Über einen Perspektivenwechsel in der Betrachtung der Schrift«, S. 30.

¹¹⁰ Nake und Grabowski, »Human-computer interaction viewed as pseudo-communication«, S. 442.

¹¹¹ Nake, »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«, S. 168.

¹¹² Ebd.

Ziel dieser Reduktion ist damit eine Problembeschreibung in der Tradition symbolischer Maschinen – symbolisch, interpretationsfrei und mechanisch ausführbar. Natürlich bedeutet das, dass sich nur ganz bestimmte Formen von Kopfarbeit maschinisieren lassen: eben jene *routine tasks*, die – wie das regelgeleitete Rechnen mit Stift und Papier – immer schon Technologie waren. Vor allem aber bedeutet dieser Prozess der Abstraktion von Phänomenen in der Welt zu Algorithmen und Daten, dass bevor die Algorithmen und Daten wahrgenommen und interpretiert werden können, eine Konkretion stattfinden muss, die diesen Prozess umkehrt: „Entscheidend ist dabei,“ schreibt Georg Trogemann, „dass in den prozessierenden Codes der Abstraktionsprozess rückwärts abläuft. Die Interfaces laden die Rechenergebnisse mit Mehrdeutigkeiten und Unschärfen auf.“¹¹³ Der Dekontextualisierung, die jedem maschinellen Rechnen zu Grunde liegen muss, tritt eine Rekontextualisierung gegenüber, deren Kontexte von ganz anderer Natur sein können (und meist auch sind), als die zuvor beseitigten. „Es kehrt nun aber nicht das zurück, das im Prozess der Abstraktion und Formalisierung weggeworfen wurde, die Lücken werden mit den Strukturen der Maschine gefüllt. Zwar bleibt die Unterseite der Medien – der Code – streng rational, doch an der Oberfläche – dem Interface – sind die Phänomene nun angereichert mit Unbeabsichtigtem und Nebeneffekten des symbolischen Operierens, die neue Interpretationsspielräume für den Nutzer eröffnen.“¹¹⁴ Und während der Vorgang der Formalisierung immer wieder von theoretischen Standpunkten aus untersucht wurde, gilt das für den Vorgang der Konkretion erstaunlicherweise weitaus weniger.

Als die Techniker im Projekt *Whirlwind* daran scheitern, die Ergebnisse digitalen Rechnens an das analoge Cockpit zu koppeln, scheitern sie genau an diesem Problem. „Nachdem mit dem Whirlwind ein Computer zur Verfügung stand, der für die automatische Verarbeitung großer Datenmengen in Echtzeit leistungsfähig genug war, wurde die Gestaltung der Ein- und Ausgabe zur kritischen Größe des entstehenden Mensch-Maschine-Systems.“¹¹⁵ Wobei es nicht nur die Leistungsfähigkeit, sondern gerade die *Echtzeitfähigkeit* ist, die hier ein kritisches Problem entstehen lässt. Während die für die Flugsimulation relevanten 47 Gleichungen mit 53 Variablen als maschinell berechenbare Abstraktion des Fliegens bereits vorliegen, erfordert deren Konkretion an den *controls* eines Cockpits neue symbolische Zeichen, neue Technologien ihrer Erzeugung und neue Konventionen des Umgangs mit ihnen. *Dafür* ist der Digitalrechner „too new“.

Denn hier greifen die theoretischen Bedingungen der Berechenbarkeit, die technischen Bedingungen der konkreten und materiellen Maschine und ihrer Ein- und Ausgabegeräte und der Prozess der Semio-

¹¹³ Trogemann, »Code und Material«, S. 20.

¹¹⁴ Ebd.

¹¹⁵ Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 97.

se auf Seite interpretierender Subjekte ineinander. Dieses Ineinandergreifen zweier Zeichenprozesse – der interpretierenden Semiose eines Menschen und des determinierten Ablaufs eines Programms – führt dazu, dass die Benutzung von Computern so etwas wie Kommunikation zu sein scheint. „Wir hatten gesehen,“ schreibt Nake, „daß im Zeichen ein Repräsentamen für ein Objekt mittels eines Interpretanten steht. Diesen Zusammenhang stellt eine interpretierende Instanz her: der Mensch. Das Geschehen am Computer führt uns dazu, ein wenig gegen die eigenen Vorurteile den Computer als eine andere solche Instanz anzunehmen.“¹¹⁶ Das gilt vor allem, wenn die Computer im unterbrechbaren Modus der Feedbackmaschine betrieben werden. Wenn Nake den Zeichenbegriff als mögliches Fundament für die gesamte Informatik betrachtet, steht hinter der Bedeutung, die er dem Begriff beimisst, doch vor allem die Tatsache, dass wir mit Computern in diesem Sinne interaktiv umgehen: „Auffallend ist, dass alle Autoren, die eine semiotische Argumentation um algorithmische Prozesse herum aufbauen, sich auch einmal speziell mit der Interaktion von Mensch und Computer befassen. Keine Frage: hier, auf der Ebene der Benutzung, wo es der Erscheinung nach kommunikativ zugeht, *müssen* die Zeichen auftreten, wenn eine theoretische Fundierung gesucht wird [...].“¹¹⁷

Damit erklärt sich, wieso die Human-Computer Interaction um einen Interaktionsbegriff entstanden ist, der klar von seinen psychologischen und soziologischen Entsprechungen getrennt ist, sie diese Trennung aber nicht konsequent aufrecht erhält. Der Zeichenaspekt des algorithmischen Zeichens setzt, wie die Interaktion des symbolischen Interaktionismus, ein interpretierendes Subjekt voraus. „Von vornherein schwingt deswegen im Computer als Werkzeug auch Sprache mit. In der naiven Redeweise vom »Dialog« mit der Maschine drückt sich diese Tatsache aus.“¹¹⁸ Spricht man, so Nake und Grabowski, von Kommunikation mit Computern, ist man „right and wrong at the same time“¹¹⁹. Die kausale Determination an der Unterfläche von Rechnern hat mit Kommunikation wenig zu tun. „Die interaktive Benutzung aber weist an der Oberfläche Merkmale kommunikativer Art auf.“¹²⁰ Die Interaktion der Human-Computer Interaction wäre dann „pseudo-communication“¹²¹ oder „Quasi-Kommunikation“¹²² und damit „quasi“ die des symbolischen Interaktionismus.

¹¹⁶ Nake, »Das algorithmische Zeichen«, S. 739.

¹¹⁷ Ebd., S. 738, Hervorhebung im Original.

¹¹⁸ Nake, »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«, S. 181.

¹¹⁹ Nake und Grabowski, »Human-computer interaction viewed as pseudo-communication«, S. 445.

¹²⁰ Nake, »Das algorithmische Zeichen«, S. 740.

¹²¹ Nake und Grabowski, »Human-computer interaction viewed as pseudo-communication«.

¹²² Nake, »Das algorithmische Zeichen«, S. 740.

4.6 DISPOSITIV UND DISZIPLIN

4.6.1 *Dispositiv*

Für die Human-Computer Interaction gilt vor diesem Hintergrund: „Theoretisierung und Methodisierung scheitern vor allem auch an dem stark inter- bzw. multidisziplinären Charakter des Gebietes“¹²³. Hier treffen ingenieurwissenschaftliche und mathematische Probleme und Lösungen auf kulturell-kommunikative. Ein- und Ausgabegeräte sind folgerichtig „nicht einfach aus mechanischen Konstruktionselementen zusammengesetzt worden, sondern Resultate komplizierter metaphorischer Prozesse und technikkultureller Wechselbeziehungen.“¹²⁴ Deswegen entwickelt das Feld bis heute keine gemeinsame Sprache, einheitliche Theorie oder Methodik. „Die MCI bleibt somit doch immer wesentlich eine *Design*-Disziplin, eine »black art«, in der »engineering design« und »creative design« mit wissenschaftlichen Methoden zusammenkommen müssen.“¹²⁵

Ein deutliches Beispiel für die komplexen technikkulturellen Wechselbeziehungen, die sich hier auch jenseits der Fragen nach Darstellung und Kopplung entfalten, sind die Bildschirme, die bis heute aufrecht auf unseren Schreibtischen stehen. Denn obwohl die Arbeitswissenschaften zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts den modernen Schreibtisch im Gegensatz zu seinem Vorgänger – dem Sekretär mit seinen Schubladenaufbauten – in eine flache Oberfläche verwandelt hatten¹²⁶, ist die virtuelle Schreibtischoberfläche des „Desktop“ stets auf einem aufrecht stehenden Monitor zu sehen. Diese Tatsache versetzt Licklider bereits 1986 in Erstaunen: „I just can’t for the life of me understand why we continue to put up with vertical screens.“¹²⁷ Dieses Erstaunen wird verständlich, wenn man bedenkt, dass Licklider wiederholt flach liegende Bildschirmoberflächen gefordert hatte, während das entscheidende Argument dagegen ursprünglich darin bestand, dass sich in den Vakuumröhren der Nachkriegszeit gelegentlich Phosphor von der Mattscheibe löste und hinunterfiel – um bei einem liegenden Monitor dessen Elektronenquelle kurzzuschließen.¹²⁸ Die Standardisierung des technischen Umgangs mit herabfallenden Phosphorpartikeln schlägt sich aber bis heute in den Praktiken der Gestaltung von Schnittstellen nieder und ist, wie noch zu sehen sein

123 Hellige, »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«, S. 16.

124 Ebd.

125 Ebd. Vergleiche hierzu auch die Ausführungen zum „engineer-designer“ und „artist-designer“ in Gillian C. Smith und Phillip Tabor. »The Role of the Artist-Designer«. In: *Bringing Design to Software*. Hrsg. von Terry Winograd. Redding, MA: Addison-Wesley, 1996, S. 37–56.

126 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 33–34.

127 Joseph C. R. Licklider. »Some Reflections on Early History«. In: *A History of Personal Workstations*. Hrsg. von Adele Goldberg. New York, NY: ACM Press, 1988, S. 121.

128 Ebd., S. 122–123.

wird¹²⁹, auch am Erfolg der Maus nicht ganz unbeteiligt. Sie findet sich in gesetzlichen Bestimmungen zu Bildschirmarbeitsplätzen, der Forschung zur Optimierung von Eingabegeräten und sicher auch in der Ästhetik der auf ihnen dargestellten Arbeitsflächen wieder. Hier hat sich zunächst unabhängig von jeder Theoretisierung und Methodisierung eine die gesamte Disziplin übergreifende stabile Form gebildet. Und obwohl flach liegende Monitore heute nicht länger ein technisches Problem darstellen, ist der Raum dessen, was überhaupt entworfen, gebaut und theoretisiert werden kann bis heute von dieser Form geprägt.

Trotz solcher erstaunlich stabilen Formen ist die Frage nach dem Paradigma der Human-Computer Interaction aber vielleicht falsch gestellt. Zwar haben wir Teile der Konstellation von Meinungen, Werten und Methoden in ihrem Zentrum oben kennengelernt. Anders als die entsprechende Konstellation im Herzen der klassischen Regelungstechnik bildet sie aber kein vollwertiges Paradigma aus. Sie besitzt keine einheitliche Sprache, keine homogene Menge von Problemen und Lösungswegen, sondern bildet ein heterogenes Feld, in dem technische, diskursive und organisatorische Formationen ebenso ineinander greifen, wie deren Geschichte.

Für derart heterogene Konfigurationen hat Michel Foucault den Begriff „Dispositiv“ vorgeschlagen. Der Begriff gibt solchen dynamischen Gebilden einen Namen, die nicht nur ein diskursives Feld, sondern auch Materialien, Praktiken und Institutionen umfassen können und die das strukturieren, was gesagt, gedacht und erzeugt werden kann – und zugleich davon strukturiert werden:

Das, was ich mit diesem Begriff zu bestimmen versuche, ist erstens eine entschieden heterogene Gesamtheit, bestehend aus Diskursen, Institutionen, architektonischen Einrichtungen, reglementierenden Entscheidungen, Gesetzen, administrativen Maßnahmen, wissenschaftlichen Aussagen, philosophischen, moralischen und philanthropischen Lehrsätzen, kurz, Gesagtes ebenso wie Ungesagtes, das sind die Elemente des Dispositivs. Das Dispositiv selbst ist das Netz, das man zwischen diesen Elementen herstellen kann.¹³⁰

Zugleich ist dieses Netz („zweitens“) nicht starr, es bildet ein „Spiel“ zwischen diesen „diskursiven und nicht-diskursiven Elementen“¹³¹. „Drittens“ ist der Prozess, in dessen Verlauf sich dieses Spiel zu etwas verdichtet, das trotz aller Heterogenität als einheitlich genug wahrgenommen wird, um zum Beispiel einen Namen wie

¹²⁹ Vergleiche 5.2.1.

¹³⁰ Michel Foucault. »Das Spiel des Michel Foucault«. In: *Dits et Ecrits. Schriften*. Hrsg. von Daniel Defert und François Ewald. Bd. 3. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2003, S. 392.

¹³¹ Ebd., S. 393.

„Interaktion“ zu bekommen und Zentrum einer wissenschaftlichen Disziplin zu werden, immer auch historisch: Ein Dispositiv entsteht in einem historischen Kontext als „[e]ine Art [...] Gebilde, das zu einem historisch gegebenen Zeitpunkt vor allem die Funktion hat, einer dringenden Anforderung nachzukommen.“¹³² Es definiert sich, wie Gérard Wajeman im Gespräch mit Foucault anmerkt, „durch eine Struktur heterogener Elemente, aber auch durch eine bestimmte Art von Genese [...]“.¹³³

Die Interaktion der Human-Computer Interaction ist ein Dispositiv in diesem Sinne. Sie entsteht aus der Anforderung symbolische Maschinen und deren Umwelt miteinander zu verknüpfen (die hier maskiert als die Anforderung der militärischen Nachkriegsordnung auftaucht), sie trägt widersprüchliche historische Traditionen in sich und ihre Heterogenität kommt sehr gut in der Tatsache zum Ausdruck, dass Interaktion historisch auf einem neuen Maschinentyp basiert, der unter anderem durch die Entwicklung der klassischen Regelungstechnik möglich wurde – und sowohl deren Tradition der Regelung durch Feedback fortsetzt, als auch mit ihr bricht, weil Regeln plötzlich zu diskretem Rechnen wird, auf einer abstrakten Maschine basierend, die keine Umwelt zu kennen scheint.

Zwar spielen in der Genese eines solchen Dispositivs Protagonisten eine Rolle, sie sind aber nicht als dessen Urheber oder Architekten zu Verstehen. So entwickelt Foucault seinen Dispositivbegriff vor allem am Dispositiv der Sexualität. In Bezug auf den „radikale[n] Einschnitt“ den Sigmund Freud aus heutiger Sicht für die Auseinandersetzung mit Sexualität zu haben scheint, argumentiert er, „dass um das 18. Jahrhundert herum aus ökonomischen, historischen Gründen ein allgemeines Dispositiv eingerichtet wird, in dem Freud *seinen Platz haben* wird.“¹³⁴ Einfache Erzählungen von Verursachern und Verursachtem sind mit dem Dispositivbegriff also nicht länger haltbar. Wenn Licklider als *gatekeeper* die Diskurse, Apparaturen, Bedienkonzepte und Praktiken aus seinem Umfeld am MIT und bei BBN zu einem Leitbild verdichtet, das später der Human-Computer Interaction zu Grunde liegen wird, bekommt er genau so einen Platz – als Produkt und Produzent des Dispositivs der Interaktion. Er formuliert ein Programm, das ein disziplinäres Feld begründen wird, während die Produkte dieses Feldes bereits an der Formulierung dieses Programms beteiligt sind.

Der Begriff des Dispositivs hat nach und neben Foucault eine Karriere hingelegt, die nicht weniger heterogen ist als die Felder, auf die er sich anwenden lässt. Unabhängig von methodischen Präzisierungen

132 Ebd.

133 Ebd.

134 Ebd., S. 411, Hervorhebung von mir.

gen und Begriffskritiken¹³⁵ soll er hier aber in genau der eingeführten Ungenauigkeit benutzt werden. Denn der Gegenstand der akademischen Disziplin Human-Computer Interaction ist tatsächlich ein vages und grob umrissenes Netz.

Das Feld erklärt sich dementsprechend weniger als normale Wissenschaft, es ist vielmehr als Reaktion auf dieses Dispositiv zu verstehen – auf ein heterogenes Feld, dass sich um die Feedbackmaschine gruppiert, sich aber nicht in ihr erschöpft. Und entsprechend sind auch die wissenschaftlichen Denkstile und Kulturen, die hier zusammenkommen, heterogen und in Teilen inkommensurabel. Sie alle aber wirken ständig auf die dispositive Konfiguration selbst zurück. Denn „[d]as eben ist das Dispositiv: Strategien von Kräfteverhältnissen, die Arten von Wissen unterstützen und von diesen unterstützt werden.“¹³⁶

4.6.2 Disziplin

Und so kann sich keine der bis heute vorgeschlagenen Theoretisierungen des Feldes zu einem Paradigma auswachsen. Gerade weil es ein bewegliches Netz zwischen Diskursen, Institutionen, wissenschaftlichen Aussagen und sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Anforderungen bildet, ist die Human-Computer Interaction als Auseinandersetzung mit diesem Dispositiv immer auch ein Feld, auf dem der Status von Rechnern und ihren Bedienern ständig aufs Neue verhandelt wird. Eine Disziplin ist das Feld also nicht wegen eines gemeinsamen Denkstils oder Paradigmas, sondern trotz dessen Fehlens.

Aus unterschiedlichsten Motivationen und unter Beteiligung von Akteuren und Torwächtern verschiedener wissenschaftlicher, Ingenieurs- und Gestaltungskulturen werden so seit den 1960er Jahren zahlreiche Ansätze entwickelt, Interaktion wissenschaftlich zu verstehen, die Konstruktion und Gestaltung von Interaktion zu optimieren oder die Arbeitsbedingungen der Bediener interaktiver Systeme zu verbessern.¹³⁷ Svanæs unterscheidet in „Understanding Interactivity“ vier grundsätzliche Strömungen der Interaktionsforschung. Ihren jeweiligen Kontext bildet die Debatte um Kognitionswissenschaft und künstliche Intelligenz, die „user-centered design tradition“, die skandinavische „systems development tradition“ und medienwissen-

135 Einen Überblick – im Kontext einer Diskussion des Dispositivs Computer – gibt zum Beispiel Becker, *Black Box Computer. Zur Wissensgeschichte einer universellen kybernetischen Maschine*, S. 148-171.

136 Foucault, »Das Spiel des Michel Foucault«, S. 395.

137 Zur Beschäftigung mit Interaktion aus einem in diesem Sinne „technischen“, „hermeneutischen“ oder „emanzipatorischen“ Interesse vergleiche Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 7-8.

schaftliche Debatten, nach denen der Computer als Medium zu verstehen ist.¹³⁸

Ein Ansatz, der für einige Zeit sehr dominant sein wird, ist der kognitionswissenschaftliche – „a narrowly cognitive perspective that, for some time, dominated the thinking of computer system designers and still persists to a considerable degree.“¹³⁹ Aus dieser Perspektive ist das Handeln am Rechner vor allen Dingen ein regelgeleitetes Problemlösen „informationsverarbeitender“ Subjekte. Dieser Ansatz soll Gegenstand von Kapitel 5 sein. Die Kritik an ihm gibt aber ebenfalls wichtige Impulse für die Interaktionsforschung bis heute. Dies beginnt spätestens mit der fundamentalen Kritik an den philosophischen Voraussetzungen des „Kognitivismus“ und der Künstlichen Intelligenz, die früh von Hubert Dreyfus begonnen wird. Dreyfus konfrontiert in seinem Buch „What Computers Can't Do“ die Informatik mit der „kontinentalen“ Philosophie Martin Heideggers, Maurice Merlau-Pontys und Ludwig Wittgensteins.¹⁴⁰ Mit dieser Konstellation liefert er gewissermaßen die Vorlage für den Verlauf der Debatte bis heute. Allen voran Terry Winograd und Fernando Flores greifen diesen Ansatz prominent auf. Hier wird die Philosophie Heideggers und die Sprechakttheorie John Austins allerdings erstmals auch als Werkzeug zur Gestaltung vorgeschlagen: als „A New Foundation for Design“¹⁴¹.

Etwa zur selben Zeit legt die Anthropologin Lucy Suchman mit „Plans and Situated Action“¹⁴² ebenfalls eine Kritik der Kognitionswissenschaften und ihrer Rolle in der Informatik vor, die sich methodisch vor allem auf die Ethnomethodologie stützt. Sie zeigt darin empirisch, dass menschliches Handeln weniger rationales Handeln ist als ein kontextbezogenes Reagieren auf die physische und soziale Umgebung.¹⁴³ Als empirische Arbeit zeigt diese Kritik zugleich, wie sich soziologische und anthropologische Methoden auf Probleme des Umgangs mit Computersystemen anwenden lassen – eine Tradition,

-
- 138 Ebd., 10-17 und 20-80. Zum Folgenden vergleiche auch Georg Trogemann, Stefan Göllner und Lasse Scherffig. »UNORTKATASTER: An Urban Experiment Towards Participatory Media Development«. In: *Paradoxes of Interactivity. Perspectives for Media Theory, Human-Computer Interaction, and Artistic Investigation*. Hrsg. von Uwe Seifert, Jin Hyun Kim und Anthony Moore. Bielefeld: transcript, 2008, S. 192–217, S. 200–205.
- 139 Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 18. Vergleiche auch Terry Winograd. »Shifting viewpoints: Artificial intelligence and human-computer interaction«. In: *Artificial Intelligence 170* (2006), S. 1256–1258.
- 140 Hubert L. Dreyfus. *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*. New York, NY: Harper und Row, 1972. Vergleiche auch Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 12.
- 141 Terry Winograd und Fernando Flores. *Understanding Computers and Cognition. A New Foundation for Design*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Co., 1986.
- 142 Lucy Suchman. *Plans and Situated Action*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- 143 Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 49–50.

die User bis heute nicht als rationale Problemlöser voraussetzt, sondern deren situierten Handlungen empirisch untersucht.

Solch fundamentale Kritik an den philosophischen Voraussetzungen der Informatik und Interaktionsforschung wird bereits seit den 1970er Jahren von einer Entwicklung in Skandinavien begleitet, die Svanæs als „systems development tradition“ bezeichnet und die vor allem mit den Begriffen „participatory design“ und „Computer Supported Cooperative Work“ (CSCW) verknüpft ist. Diese Tradition will ebenfalls die Benutzer interaktiver Systeme bei deren Gestaltung berücksichtigen, entsteht aber vor einem explizit gewerkschaftlichen Hintergrund.¹⁴⁴ In der Folge werden hier die Benutzer neuer Computersysteme in deren Gestaltung eingebunden, was vor allem zur Folge hat, dass neue Methoden entwickelt werden, wie Arbeitspraxen und technische Anforderungen über die Sprachgrenzen der Kulturen von „End-Usern“, Gestaltern und Ingenieuren kommuniziert werden können. Im Kontext solcher partizipatorischer Ansätze spielen neben soziologischen Methoden bald auch dezidiert künstlerische Verfahren eine wichtige Rolle.¹⁴⁵

Im spezifisch skandinavischen Kontext, in dem sich das *Participatory Design* entwickelt, spielt auch eine Strömung der marxistisch geprägten Psychologie eine wichtige Rolle: „Activity Theory“ entsteht in der Sowjetunion auf Grundlage der Arbeit Lew Semjonowitsch Wygotskis¹⁴⁶ und wird die Auseinandersetzung mit dem Dispositiv der Interaktion nachhaltig beeinflussen.¹⁴⁷ Handlungen werden hier vor allem – und in großer Nähe zu den Ansätzen etwa von Winograd, Flores und Suchman – als sozial situierte „Praxis“ verstanden, die immer kommunikative wie instrumentelle Aspekte besitzt und die von ihren physischen und organisatorischen Bedingungen genau so begrenzt wird, wie von den „Kulturtechniken“ (einschließlich der Sprache) des Umgangs damit.¹⁴⁸ Komplementär zu partizipatorischen Ansätzen und der *Activity Theory* entstehen im skandinavischen Kontext (aber nicht nur hier) auch früh Ansätze, die sich auf die Semiotik berufen¹⁴⁹ – und die zwar in der „HCI community“ weniger stark

¹⁴⁴ Vergleiche hierzu Sarah Kuhn. »Design for People at Work«. In: *Bringing Design to Software*. Hrsg. von Terry Winograd. Redding, MA: Addison-Wesley, 1996, S. 273–289, sowie Sarah Kuhn und Terry Winograd. »Profile: Participatory Design«. In: *Bringing Design to Software*. Hrsg. von Terry Winograd. Redding, MA: Addison-Wesley, 1996, S. 290–294.

¹⁴⁵ Trogemann, Göllner und Scherffig, »UNORTKATASTER: An Urban Experiment Towards Participatory Media Development«, S. 203–205.

¹⁴⁶ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 54.

¹⁴⁷ Vergleiche vor allem die grundlegende Dissertation: Susanne Bødker. »Through the Interface – a human activity approach to user interfaces«. Diss. Aarhus: Aarhus University, 1987.

¹⁴⁸ Ebd., S. 31–34.

¹⁴⁹ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 27. Eine grundlegende Arbeit ist das erstmals 1991 erschienene Buch: Peter Bøgh Andersen. *A Theory of Computer Semiotics: Semiotic Ap-*

angenommen wurden als andere Ansätze¹⁵⁰, bis heute aber ebenfalls eine reichhaltige Forschung befruchtet haben.¹⁵¹

Die medienwissenschaftlich beeinflussten Debatten, die Computer als Werkzeug und Medium auffassen, finden schließlich ebenfalls teilweise im Kontext der skandinavischen Interaktionsforschung¹⁵² aber auch in Deutschland statt¹⁵³. Sie stehen oftmals semiotischen Ansätzen nahe – auch weil die Erkenntnis der Quasi-Sprachlichkeit von Interaktion den medialen Charakter interaktiver Computer unterstreicht.

Bei Dourish werden viele Aspekte dieser Strömungen unter dem Titel der „embodied interaction“ zusammengefasst. Dourish liest (und schreibt) die Geschichte der Mensch-Computer-Interaktion im Sinne der oben genannten Fortschrittsgeschichte als „gradual expansion of the range of human skills and abilities that can be incorporated into interaction with computers.“¹⁵⁴ Seine zentrale These ist dabei, dass die Berücksichtigung von erstens sozialen und kommunikativen Aspekten der Computerbedienung, wie sie von Suchman und in der skandinavischen Tradition untersucht werden, und zweitens von den physischen Eigenschaften von Schnittstellen, wie sie vor allem in der Auseinandersetzung mit „Tangible User Interfaces“, die weiter unten noch eine Rolle spielen wird, untersucht werden, ein gemeinsames Feld umschreibt.¹⁵⁵ Dass Computerbedienung also inhärent sozial wie sensomotorisch zu verstehen ist – eine Erkenntnis, die sich bereits in der *Activity Theory* finden lässt – verbindet Dourish in unmittelbarer Nachfolge von Winograd und Flores mit Phänomenologie und Hermeneutik zu einem „nonrepresentationalist stance toward interaction and cognition“, in dem auch die medialen Aspekte von Interaktion als „reaching through those artifacts“ wieder auftauchen.¹⁵⁶ Dass er diese Position als „embodied“ bezeichnet ist direkt auf Entwicklungen innerhalb der Kognitionswissenschaften zurückzuführen, wo unter dem Schlagwort „embodiement“ ab etwa 1990 versucht wird, eine Wende in Richtung nicht-repräsentationalis-

proaches to Construction and Assessment of Computer Systems. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

150 Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 27.

151 Einen Überblick liefert Nake, »Das algorithmische Zeichen«, S. 737-738. Vergleiche auch Nake, »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«.

152 Ebd., S. 176-182.

153 Ebd., Heidi Schelhowe. *Das Medium aus der Maschine. Zur Metamorphose des Computers*. Frankfurt und New York, NY: Campus Verlag, 1997, Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*.

154 Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 17.

155 Ebd., S. 17, 158 und 189.

156 Ebd., S. 207, Hervorhebung von mir.

tischer Positionen einzuleiten¹⁵⁷ – eine Diskussion, die hier noch eine wichtige Rolle spielen wird.

Folge derartiger Fortschrittsgeschichten ist aber, dass nichtrepräsentationalistische Positionen im Feld der Human-Computer Interaction, die von Anfang an Teil des Feldes sind, zu „post-kognitivistischen“¹⁵⁸ Reaktionen auf Entwicklungen innerhalb der Kognitionswissenschaften erklärt werden. Damit wird zwar die enge Ko-Evolution von Interaktionsforschung und der Kognitionswissenschaft deutlich gemacht, die sich im kommenden Kapitel beobachten lassen wird, die historische Parallelität der Entwicklung alternativer Praxen und Positionen allerdings vernachlässigt. Tatsächlich ist diese Parallelität widersprüchlicher und bisweilen inkommensurabler Ansätze in der Human-Computer Interaction aber Tatsache. In teilweiser Überschneidung mit den vier Strömungen bei Svanæs identifizieren andere beispielsweise drei vollwertige Kuhn'sche Paradigmen *innerhalb* der Disziplin.¹⁵⁹

Ein derart unübersichtlicher Zustand mag für eine wissenschaftliche Disziplin zwar untypisch sein, er ist in der Geschichte der Wissenschaften aber alles andere als einzigartig. Um ein derartiges Zusammenkommen verschiedener Wissenskulturen und Denkstile beschreiben zu können, die trotz ihrer Inkommensurabilitäten und trotz des Fehlens einer gemeinsamen Sprache erfolgreich zusammenarbeiten, hat Peter Galison den Begriff der „trading zone“ geprägt.¹⁶⁰ Multidisziplinäre Felder entwickeln demnach „contact languages“, die den Austausch über Grenzen verschiedener Wissenskulturen hinweg ermöglichen – als „*local* coordination despite vast *global* differences.“¹⁶¹

Mit der Human-Computer Interaction bringt das Dispositiv der Interaktion eine solche *trading zone* hervor. Die Sprache der Disziplin ist damit mehr „pidgin“ oder „creole language“¹⁶² als vollständige Sprache, sie stellt aber sicher, dass die beteiligten Forscher überhaupt kommunizieren können – weil zum Beispiel die Theorie und Praxis des Programmierens und die durch komplexe Prozesse standardisierte Hardware von Ein- und Ausgabegeräten über alle Denkstile hinweg

-
- 157 Andy Clark. *Being there. Putting Brain, Body, and World together again*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997, Francisco J. Varela, Evan T. Thompson und Eleanor Rosch. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA: MIT Press, 1993 [1991]. Eine wissenschaftstheoretische Einordnung liefert Frank Schumann. »Embodied Cognitive Science: Is it Part of Cognitive Science? Analysis within a Philosophy of Science Background«. In: *PICS. Publications of the Institute of Cognitive Science* 3-2004 (2004). Hrsg. von Kai-Uwe Kühnberger, Peter König und Petra Ludewig.
- 158 Victor Kaptelinin u. a. »Post-cognitivist HCI: second-wave theories«. In: *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '03. New York, NY: ACM, 2003, S. 692–693.
- 159 Steve Harrison, Deborah Tatar und Phoebe Sengers. »The Three Paradigms of HCI«. In: *Proceedings of CHI*. 2007.
- 160 Peter Galison. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1997, S. 784.
- 161 Ebd., S. 783, Hervorhebung im Original.
- 162 Ebd., S. 831.

konstant bleiben. Der Begriff der Interaktion, der hier zur Beschreibung des Gegenstandes der eigenen Arbeit verwendet wird, kann vor diesem Hintergrund nur ein zugleich „unter-“¹⁶³ wie „überdefinierter“¹⁶⁴ Begriff sein, der das Potential hat, zwischen technologischer und kulturell-sozialer Bedeutung zu oszillieren, der wahlweise als *technical term* und unscharfer Begriff auftreten kann und der damit die Heterogenität des gesamten Feldes zu umfassen in der Lage ist.

Manche Ergebnisse der lokalen Koordinationsvorgänge in dieser *trading zone* werden hier noch eine wichtige Rolle spielen, aber keiner dieser Ansätze wird sich als Zentrum einer Auseinandersetzung mit Kybernetik und Interaktion erweisen. Denn zwar besitzt die reiche Tradition post- oder nicht-kognitivistischer Human-Computer Interaction zahlreiche Berührungspunkte mit den hier entwickelten Überlegungen. So lässt sich bereits hier festhalten, dass all diese Ansätze dahingehend übereinstimmen, als dass sie die konkrete lebensweltliche Situiertheit von Interaktion betonen und damit nicht nur klar machen, dass Ziele, Aufgaben und Probleme immer in einer Welt voller unreflektierter Praxen und lokaler Problemlösungen zu finden sind, sondern dass diese auch immer an die ganz einfache und konkrete physische Realität menschlicher Handlung und errechneter Reaktion gebunden sind. Dabei soll aber das Verhältnis menschlicher Handlung zu Rechenprozessen und ihrer Darstellung auf einer anderen Ebene untersucht werden, als etwa die *Activity Theory* dies tut – nämlich auf der Ebene der Rückkopplung von Mensch und Feedbackmaschine. Die weitere Argumentation wird in der Folge daher zunächst in Abgrenzung zur Kognitionswissenschaft entwickelt – einer Disziplin, die sich zugleich als Fortsetzung wie Ende der Kybernetik ansehen lässt.

163 Rafaei, »Interactivity: From new media to communication«, S. 110.

164 Quiring und Schweiger, »Interaktivität – ten years after. Bestandsaufnahme und Analyserahmen«, S. 21.

DIE PSYCHOLOGIE DER HUMAN-COMPUTER INTERACTION

Das zukünftige Personal des SAGE muss die Benutzung dieses Systems erst erlernen. Die Grundlage des entsprechenden Trainings bildet eine Computersimulation, die dank der mechanischen Symbolmanipulation eines frühen Digitalrechners symbolische Darstellungen virtueller Radarantworten erzeugt. Die Verknüpfung von Training an solchen Symbolen (im Sinne Peirces), die dank mechanischer Symbolmanipulation (im Sinne Krämers) erzeugt werden, führt dazu, dass die Trainer des Personals und Programmierer der Simulation beginnen, beide Bedeutungen des Symbolbegriffs als eines zu sehen und Personal und Computer als Vertreter einer gemeinsamen Spezies zu begreifen: der des informationsverarbeitenden Systems. In der Folge entwickelt sich eine Wissenschaft, die Informationsverarbeitung als Symbolmanipulationen begreift und konsequenterweise Denken als Rechnen. Diese Wissenschaft schließt zwar in mancherlei Hinsicht an die Kybernetik an, bricht aber mit dem Versuch „mentalistische“ Konzepte des Denkens zu retten mit ihr. Als Kognitionswissenschaft wird diese Disziplin einen wichtigen Platz in der „trading zone“ der Interaktionsforschung einnehmen. Und während das Entstehen dessen, was heute als Personal Computer bezeichnet wird, zwar eng mit der Entwicklung einer kognitionswissenschaftlichen Interaktionsforschung verbunden ist, sind hier doch auch Prozesse am Werk, die sich gegen ein kognitionswissenschaftliches Verständnis von Interaktion verschließen. Spätestens mit der theoretischen Reflektion von „Direct Manipulation“ und „Tangible User Interfaces“ zeigt sich, dass vielleicht genau die Teile kybernetischen Denkens, die die Kognitionswissenschaft hinter sich gelassen hat, nötig sind, um zu begreifen, was beim Interagieren tatsächlich vor sich geht.

5.1 KYBERNETIK UND KOGNITION

Wie kann man sicherstellen, dass eine symbolische Darstellung auf den Bildschirmen des SAGE und später der gesamten Informatik so interpretiert werden wird wie beabsichtigt? Zwar sind die in *Whirlwind* und SAGE verwendeten Buchstaben alles andere als neu und auch das zweidimensionale *mapping* von Radardaten auf eine planare Darstellung ist es nicht. Neu ist jedoch die Kopplung solcher Darstellungen an algorithmische Prozesse, in die, während sie ablaufen, eingegriffen werden kann. Die Konventionen des Umgangs mit algorithmischen Zeichen sind weder etabliert, so dass man sie voraussetzen könnte, noch sind die verwendeten Darstellungen offensichtlich ikonisch genug, um selbsterklärend zu sein. Zwar entstehen

die Kopplungen, wie am Beispiel von Monitor und Light-Gun gezeigt, zunächst eher zufällig und aus dem Kontext und der *culture* der beteiligten Ingenieure heraus, bald aber wird klar, dass das zuverlässige Bedienen der neuen Maschinen ein organisiertes Training voraussetzt. Die Bediener des SAGE müssen lernen, sich im pragmatischen Zusammenhang des Systems korrekt zu verhalten und die passenden oder erwünschten Interpretanten zu den Representamen zu erzeugen, mit denen sie konfrontiert sind.

Diese Aufgabe übernimmt das *Systems Research Laboratory* (SLR) der *RAND Corporation*.¹ Dieser *think tank* war nach dem Zweiten Weltkrieg als *Research AND Development* gegründet worden, um den „unprecedented use of scientific and industrial resources“ der verschiedenen Zweige der US-Armee während des Zweiten Weltkriegs, für den das *Project Whirlwind* nur ein Beispiel von vielen ist, auch nach Kriegsende fortsetzen zu können². Der Leiter des Trainings ist Allen Newell. Unter ihm wird eine Simulationsumgebung aufgebaut, an der die Benutzung des SAGE trainiert werden kann. Berater des Projekts ist der Sozialwissenschaftler Herbert A. Simon, der zu dieser Zeit zur Entscheidungsfindung in Organisationen forscht³ – und der für sein Konzept der „bounded rationality“, das aus dieser Forschung hervorgehen wird, 1978 den Wirtschaftsnobelpreis bekommt.

Der Bau einer Trainingsumgebung für militärisches Personal ist, wie schon am ASCA gesehen, keine Neuerung. Die US-Armee kann auf eine lange Geschichte des Trainierens und Testens von Personal zurückblicken.⁴ Und insbesondere die Systeme der klassischen Regelungstechnik machen umfangreiche Trainingsprogramme für ihr „personnel subsystem“⁵ notwendig. Die Studien zum „human being as a servo“ gehen in die Arbeit zu „human factors“ und „ergonomics“ auf – Felder, die in der Folge wichtige Rollen in der *trading zone* der Interaktionsforschung spielen sollen.⁶ Auch in die Arbeit zu Human Factors werden von Anfang an Psychologen einbezogen und die „Human Factors Society“ entsteht nach dem Zweiten Welt-

1 Douglas D. Noble. »Mental Materiel. The militarization of learning and intelligence in US education«. In: *Cyborg Worlds. The Military Information Society*. Hrsg. von Les Levidow und Kevin Robins. London: Free Association Books, 1989, S. 13–41, S. 19. Später wird das SLR als *System Development Corporation* (SDC) eine eigene Firma werden.

2 RAND Corporation. *History and Mission*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2012. URL: <http://www.rand.org/about/history.html>.

3 Vergleiche hierzu Herbert A. Simon. »Allen Newell. 1927-1992«. In: *National Academy of Sciences Biographical Memoirs* (1997), S. 139–173.

4 Noble, »Mental Materiel. The militarization of learning and intelligence in US education«, S. 16–18. Zu den „Army Mental Tests“ vergleiche auch Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 14–22.

5 Noble, »Mental Materiel. The militarization of learning and intelligence in US education«, S. 17.

6 Wobei ihre Rolle mit den Jahren variieren wird. Vergleiche Jonathan Grudin. »Three Faces of Human-Computer Interaction«. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 27.4 (2005), S. 46–62.

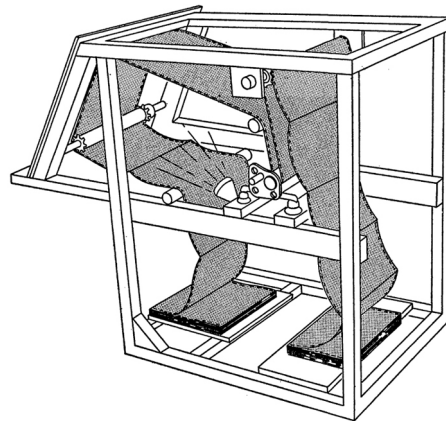


Abbildung 19: Scheinbare Bewegung für das SAGE-Training (aus Robert L. Chapman u. a. »The Systems Research Laboratory's Air Defense Experiments«. In: *Management Science* 5.3 (1959), S. 250–269, S. 256).

krieg als Gründung von Psychologen der *Air Force*. Lickliders Rolle in der „presentation group“ und später der Entstehung der Human-Computer Interaction steht so im Kontext einer lange etablierten Zusammenarbeit von Ingenieuren und Psychologen.

Newell aber ist Physiker und Mathematiker.⁷ Für ihn ist das Programmieren simulierter Radarechos nicht weniger interessant, als das Verhalten der lernenden Benutzer an diesen Simulationen. Anders als Wiener, bei dem die Bewegung eines Flugzeugs durch das „Spielen“ mit Lichtpunkten auf der Labordecke und -wand simuliert wurde, simuliert Newell die Radarechos von bis zu 800 Flugzeugen mit Hilfe digitalen Rechnens. Ihre Bewegungen werden algorithmisch beschrieben, von einem Computer berechnet und auf Papier ausgegeben. Am Ende des Prozesses stehen lange Papierstreifen, auf die hintereinander alle aufeinander folgenden Bildschirmanzeigen eines Radars während einer Trainingseinheit gedruckt sind. Wie ein Filmstreifen werden sie Bild für Bild hinter der Scheibe einer Präsentationseinheit entlanggezogen und von hinten beleuchtet (Abbildung 19).⁸ So scheinen sich die *blips* simulierter Radarechos dank scheinbarer Bewegung über die „Bildschirme“ von Frühwarnstationen zu bewegen und was zunächst Teil eines mathematischen Modells von Flugbewegungen war, wird im Trainingssystem wirksam. „It was possible, by means of computers, to pre-program system inputs under rigorous control; these devices were a way of presenting the *computer output as system inputs*.“⁹

⁷ Zur Biographie vergleiche Simon, »Allen Newell. 1927-1992«.

⁸ Robert L. Chapman u. a. »The Systems Research Laboratory's Air Defense Experiments«. In: *Management Science* 5.3 (1959), S. 250–269, S. 256–262.

⁹ Ebd., S. 256, Hervorhebung von mir.

Die Einsicht, dass die Ausgaben eines Computers als sinnvolle Eingaben in ein System dienen können, ist im Grunde zwar nur die Formulierung der Tatsache, dass Rechnen seit *Whirlwind* meist in Rückkopplung mit einer Umwelt stattfindet. Sie wird aber die Arbeit Newells nachhaltig prägen. Simon wird nach dessen Tod darüber schreiben: „This not only provided the required laboratory simulation but also demonstrated to Al [Newell] and Cliff [Shaw] (and to me when I learned of it) that computers [...] could do more than arithmetic.“¹⁰

Schon vor dieser Erkenntnis ist für die beteiligten Wissenschaftler am SRL klar, dass der entscheidende Parameter, von dem das Verhalten des Personals des SAGE (aber auch von Systemen und Organisationen im Allgemeinen) abhängt, Information heißt¹¹. Die Kernaufgabe der Trainingsteams besteht dementsprechend im korrekten Identifizieren relevanter Informationen und der Trainingserfolg misst sich vor allem daran, wie die Gruppen lernen, unter steigender Last weniger Aufmerksamkeit auf irrelevante Informationen zu verwenden.

In der komplexen Simulationsumgebung aus „physical“, „cultural“ und „task environment“¹² aber werden die Informationen (als das, worauf die Trainingsgruppen korrekt und effizient reagieren müssen) und die auf Papier gedruckten Symbole (als welche die Informationen zur „Eingabe“ in das System werden) unentwirrbar miteinander verquickt. Und da diese Symbole durch die „mechanischen“ Symbolmanipulationen eines Rechners nach dem Modell der Turingmaschine entstanden waren, wird für Newell auch die Unterscheidung zwischen der technischen „intrasymbolischen“ Bedeutung von Symbolen (in ihrer Funktion als Signal in einem Rechenprozess) und ihrer semiotischen „extrasymbolischen“ Interpretation (in ihrer Funktion als Zeichen) verwischt: „Within the simulated training environment, Newell came to view the human operators, too, as »information processing systems« (IPS) which processed symbols just as his program »processed« the symbols of simulated radar blips.“¹³ Diese kritisch gemeinte Einschätzung teilt, ganz unkritisch, auch Simon, wenn auch er betont, wie die Idee der Informationsverarbeitung den Zusammenhang zwischen Denken und Rechnen herstellt: „Now two of the preconditions were in place for Allen's move to the goal of understanding human thinking. He clearly saw information processing as a central activity in organizations, and he had had a first experience in symbolic computing.“¹⁴

¹⁰ Simon, »Allen Newell. 1927-1992«, S. 146.

¹¹ Chapman u. a., »The Systems Research Laboratory's Air Defense Experiments«, S. 251.

¹² Ebd., S. 256-267.

¹³ Noble, »Mental Materiel. The militarization of learning and intelligence in US education«, S. 19.

¹⁴ Simon, »Allen Newell. 1927-1992«, S. 146.

5.1.1 Informationsverarbeitende Systeme

Es ist die Idee des „informationsverarbeitenden Systems“, die die entscheidende Folge der Arbeit zum Training der Computerbedienung werden wird: Newell und Simon verfassen wegweisende Arbeiten zum Verständnis des menschlichen Denkens, für die diese Idee zentral sein wird. Dieses neue „understanding human thinking“ wird in der Folge Grundlage und Ziel einer eigenen wissenschaftlichen Disziplin werden: der Kognitionswissenschaft.

Der Psychologe Howard Gardner sieht diese Disziplin in einem frühen Rückblick auf die „Cognitive Revolution“ durch fünf grundsätzliche Eigenschaften definiert. Diese sind:¹⁵

- der Glaube an mentale Repräsentationen, über die ohne Verweis auf deren Biologie, neurologische Grundlagen aber auch sozio-kulturelle Verankerung gesprochen werden kann,
- das Vertrauen darauf, dass Computer nicht nur wichtige Werkzeuge zur Untersuchung des Denkens sein können, sondern dass Computer „the most viable model of how the human mind functions“ seien,
- das bewusste Vernachlässigen („de-emphasize“) von Affekt und Emotion, sowie von Geschichte und Kultur als Hintergrund des menschlichen Handelns,
- der Glaube an Interdisziplinarität,
- sowie die Verankerung in einer bestimmten Denktradition der westlichen Philosophie.

Diese Denktradition haben Winograd und Flores in ihrer Kritik an der kognitionswissenschaftlich orientierten Informatik als die „rationalistische Tradition“ bezeichnet.¹⁶ Ihre zentrale Eigenschaft ist der Versuch der Reduktion von Phänomenen auf möglichst formale Beschreibungen und Kalküle, die das regelgeleitete Schließen und damit technisch erzeugte Vorhersagen erlauben.¹⁷ Die rationalistische Tradition ist damit untrennbar mit dem Programm und dem Erfolg der exakten Wissenschaften verknüpft. Sie ist aber auch die Tradition, zu der die jahrhundertelange Entwicklung symbolischer Maschinen gehört, die in der Entwicklung der universellen Turingmaschine und dem Bau von Computern vorerst kulminiert. In „Under-

¹⁵ Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, S. 6-7, sowie 38-45. Zur Einführung vergleiche auch Schumann, »Embodied Cognitive Science: Is it Part of Cognitive Science? Analysis within a Philosophy of Science Background«, S. 12-20.

¹⁶ Terry Winograd und Fernando Flores. *Erkenntnis – Maschinen – Verstehen*. Berlin: Rotbuch Verlag, 1989, S. 36-54.

¹⁷ Ebd., S. 37.

standing Computers and Cognition“¹⁸ rekonstruieren Winograd und Flores die Kognitionswissenschaft als Versuch der Vereinigung der „innerhalb der rationalistischen Tradition verankerten Theorien über menschliches Denken und Sprechen in einer neuen Disziplin.“¹⁹ Ihre Interdisziplinarität ist damit die der ohnehin verwandten Denkstile der analytischen Philosophie, (Computer-)Linguistik, Künstlichen Intelligenz, sowie Simons Theorie des Entscheidens und Problemlösens, die in der kognitiven Psychologie aufgehen wird.

Die Kognitionswissenschaft stellt so tatsächlich die jahrtausendealte Frage nach der Natur von Wissen und Denken²⁰, sie tut dies aber erstens vor dem Hintergrund der rationalistischen Formulierungen dieser Frage und zweitens unter dem Eindruck des Computers. Denn Computer können „more than arithmetic.“²¹ Die formalen Beschreibungen und Kalküle, die seit jeher Ziel der rationalistischen Tradition sind und die schon immer im Kern Berechenbarkeit anstreben, werden mit ihnen zu ausführbaren Programmen. Damit können sie nicht nur als Modelle angeschrieben, sondern auch in Aktion überprüft werden – womit sie für eine neue empirische Untersuchbarkeit zugänglich werden, die es so bisher nicht gegeben hat. Es ist diese Möglichkeit, Theorien praktisch wirksam werden zu lassen, die für Newell eine „conversion experience“²² zur Folge hat und die dem gesamten Feld der Kognitionswissenschaft zu Grunde liegen wird²³.

Die Theorien des Geistes der rationalistischen Tradition sind syntaktisch, kontextfrei und berechenbar²⁴, sie sind symbolische Maschinen im Sinne Krämers und setzen eben die Reduktion voraus, die nach Naked Phenomena zu Signalen macht. Dabei mag aus heutiger Sicht zwar klar sein: so ein Vorgehen „blendet konsequenterweise einen Großteil der menschlichen Sprache aus und reduziert diese auf Anteile, die durch formallogische Kalküle zur Informationsverarbeitung charakterisiert werden können.“²⁵ Die Tradition, der dieses Interesse entstammt, ist aber explizit an diesem speziellen Teil des

18 Das Buch erscheint erstmals 1986. Die deutsche Übersetzung mit dem Titel „Erkenntnis Maschinen Verstehen“ erscheint 1989.

19 Winograd und Flores, *Erkenntnis – Maschinen – Verstehen*, S. 50.

20 Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, S. 3-5.

21 Simon, »Allen Newell. 1927-1992«, S. 146.

22 Ebd., S. 147. Man beachte die Ähnlichkeit der Rhetorik zur „religious conversion to interactive computing“ bei Licklider. Der Computer ist augenscheinlich auch eine religiöse Maschine.

23 „In sum, the term cognitive science subsumes various computational theories of mental phenomena. Their computational nature is what unifies the multiple disciplines in the field and may count for much of its success in recent years: computational theories combine the analytical tradition of formal enquiry with mechanical implementation of such theories in computers.“ Schumann, »Embodied Cognitive Science: Is it Part of Cognitive Science? Analysis within a Philosophy of Science Background«, S. 12.

24 Ebd., S. 12-14.

25 Wolfgang Coy. »Nachwort: Ein post-rationalistischer Entwurf«. In: *Erkenntnis – Maschinen – Verstehen*. Hrsg. von Terry Winograd und Fernando Flores. Berlin: Rotbuch Verlag, 1989, S. 296-314, S. 306.

Denkens interessiert und hofft, dass er ein idealisiertes Modell des Denkens überhaupt sein könnte – ein Modell, das schließlich auch einer Erklärung zunächst pragmatisch vernachlässigter Phänomene wie Affekt, Emotion, Geschichte und Kultur zu Grunde liegen kann.

Mit dem „informationsverarbeitenden System“ liefern Newell und Simon dieser neuen Wissenschaft ein epistemisches Ding, das zugleich ein technisches ist. Als Trainer und Programmierer haben sie es sowohl vor den Bildschirmen des SAGE und deren Simulation beobachten können, wie auch dahinter. Das Denken und Handeln dieser Systeme beschreiben sie ganz im Geiste der Arbeit von Simon als Problemlösen im Angesicht einer „limited rationality“²⁶ – die natürlich in erster Linie noch immer eine „rationality“ im Sinne der rationalistischen Tradition ist. Newells Doktorarbeit, deren Betreuer Simon ist, trägt den Titel „Information Processing: A new Technique for the Behavioral Sciences“²⁷ und schlägt nichts Geringeres vor, als den Behaviorismus, der sich aus methodischen Gründen nicht um die „internen“ und nicht beobachtbaren Vorgänge handelnder Menschen oder Tiere kümmern wollte, durch eine Studie genau dieser internen Vorgänge zu ersetzen.

Es sind diese internen Vorgänge, die das informationsverarbeitende System ausmachen und die in Zukunft als Kognition bezeichnet werden. Ihre Informationsverarbeitung ist von Anfang an eine Informationsverarbeitung, deren Informationen wie die „blips“ am SRL als zu interpretierende Symbole vorliegen und deren „limited rationality“ im determinierten Operieren auf den verfügbaren Symbolfolgen besteht, wobei die Symbole, so wie die „blips“ Flugzeuge repräsentieren, als Repräsentation einer Welt gelten, die es durch ihre regelgeleitete Manipulation zu meistern gilt.

Teil der kumulativen Doktorarbeit Newells ist neben der Beschreibung eines Schachprogramms die einflussreiche Beschreibung einer „Logic Theory Machine“ durch Newell und Simon: eines informationsverarbeitenden Systems, das in der Lage ist, logische Theoreme zu beweisen. Darin schreiben sie:

An information processing system, IPS, consists of a set of memories, and a set of information processes, IP's. The memories form the inputs and outputs for the information processes. A memory is a place that holds information over time in the form of symbols. [...] The IP's are, mathematically speaking, functions from the input memories and their contents to the symbols in the output memories. The set of elementary IP's is defined explicitly,

²⁶ Allen Newell. »Information processing: a new technique for the behavioral sciences«. Diss. Pittsburgh, PA: Carnegie Institute of Technology, 1957, S. 8.

²⁷ Ebd.

and through these definitions all relevant characteristics of symbols and memories are specified.²⁸

Die Kombination solch eines Systems mit den Symbolen, die die Start- und Randbedingungen bestimmen, nennen Newell und Simon anschließend „Programm“. Mit anderen Worten: informationsverarbeitende Systeme sind nach dem „Information Processing Model“²⁹ nichts anderes als die Algorithmen der entstehenden Informatik.

Bereits während der Arbeit am SRL ersetzt Simon den von seiner Forschung zu Unternehmen und Organisationen geprägten Begriff des „decision making“ durch den allgemeineren und an die Psychologie anschlussfähigeren Begriff des „problem solving“³⁰. Folgerichtig erweitern Newell, Shaw und Simon die „Logic Theory Machine“ in der Folge zum „General Problem Solving Program“ (GPS)³¹ – einem Programm, das komplexe Probleme hierarchisch in weniger komplexe Probleme zerlegt, um diese mit Hilfe elementarer Operationen zu lösen.

Der Computer dient dabei also nicht als „krude Analogie“³² des Menschen. Er kann vielmehr als „analytic device“³³ der empirischen Überprüfung von Modellen des menschlichen Denkens dienen. Die Gemeinsamkeit von Mensch und Rechner ist damit, wie Newell und Simon an anderer Stelle pointiert formulieren, dass beide Vertreter einer gemeinsamen Spezies sind: eben der des informationsverarbeitenden Systems³⁴. Die Struktur des regelgeleiteten Schließens bildet die behauptete Grundstruktur des Denkens überhaupt. Und da das Rechnen der abstrakten universellen Maschine die Strukturen logischen Schließens nachbildet, als deren Maschinisierung es von Turing formuliert wurde, sind Computer und Menschen nur kontingente Ausformungen des selben allgemeinen Prinzips.³⁵ Jedes konkrete physikalische System, das in der Lage ist Symbole zu manipulieren, kann nach dieser Sicht Kognition besitzen.

Diese Idee verdichten Newell und Simon bis 1975 zur „Physical Symbol System Hypothesis“:

28 Allen Newell und Herbert A. Simon. »The logic theory machine – A complex information processing system«. In: *IRE Transactions on Information Theory* 2.3 (1956), S. 61–79, S. 62.

29 Newell, »Information processing: a new technique for the behavioral sciences«, S. 10.

30 Noble, »Mental Materiel. The militarization of learning and intelligence in US education«, S. 20.

31 Allen Newell, Cliff Shaw und Herbert A. Simon. »Report on a general problem-solving program«. In: *Proceedings of the International Conference on Information Processing*. 1959, S. 256–264.

32 Ebd., S. 19.

33 Ebd., S. 2.

34 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 59.

35 Newell, Shaw und Simon, »Report on a general problem-solving program«, S. 19.

A physical symbol system has the necessary and sufficient means for general intelligent action.³⁶

Als Argument der Multirealisierbarkeit ist dies ein wichtiges Argument des philosophischen Funktionalismus³⁷ und insbesondere für den Computerfunktionalismus zentral, den wir bei Newell und Simon so eindeutig beobachten können.³⁸ Der Gebrauch des Symbol-Begriffs macht aber klar, wie sehr hier die intra- und extrasymbolische Rolle von Symbolen und damit Bedeutung und mechanisches Rechnen als eins gedacht werden: In scheinbarer Tradition der Peirce'schen Semiotik sind auch bei Newell und Simon Symbole durch ihr Verweisen auf Abwesendes und die Notwendigkeit ihrer Interpretation gekennzeichnet. Interpretation wird hier allerdings auf das Ausführen elementarer Operationen oder deren Kombination zu Programmen reduziert: „The system can interpret an expression if the expression designates a process and if, given the expression, the system can carry out the process.“³⁹ Sie entspricht damit der Determination auf der Seite des Signals des algorithmischen Zeichens.

5.1.2 Die Geburt einer Disziplin

1956 gilt vielen Zeitgenossen als Geburtsjahr der Kognitionswissenschaft.⁴⁰ Hier findet die „Dartmouth Conference“ statt, auf der das Feld der Künstlichen Intelligenz begründet wird und am MIT kommen unter dem Titel „Symposium on Information Theory“ wichtige Vertreter der Idee der Informationsverarbeitung zusammen und präsentieren ihre eng verwandten Ansätze in einem gemeinsamen Kontext.

Newell und Simon stellen die „Logic Theory Machine“ vor, der Linguist Noam Chomsky führt unter dem Titel „Three models for the description of language“⁴¹ erstmals die berühmte „Chomsky-Hierarchie“ formaler Sprachen ein und der Psychologe George Miller stellt seine Forschungsergebnisse vor, die andeuten, dass die menschliche Fähigkeit, Informationen zur Verarbeitung vorzuhalten, absolute und quantifizierbare Grenzen besitzen könnte. Diese Studie

³⁶ Allen Newell und Herbert A. Simon. »Computer science as empirical inquiry: symbols and search«. In: *Communications of the ACM* 19.3 (1976), S. 113–126, S. 116.

³⁷ Zur Einführung vergleiche Ansgar Beckermann. *Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes*. Berlin und New York, NY: Walter de Gruyter, 1999, S. 152.

³⁸ Ebd., S. 162, Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, S. 31.

³⁹ Newell und Simon, »Computer science as empirical inquiry: symbols and search«, S. 116.

⁴⁰ Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, S. 28, George A. Miller. »The cognitive revolution: a historical perspective«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 7.3 (2003), S. 141–144, S. 142.

⁴¹ Noam Chomsky. »Three models for the description of language«. In: *IRE Transactions on Information Theory* 2.3 (1956), S. 113–124.

wird als „The Magical Number Seven, Plus or Minus Two“⁴² einer der einflussreichsten Texte der Kognitionspsychologie werden – und auch in der Human-Computer Interaction eine nachhaltige Rolle spielen.

Für die Beteiligten markiert die Tagung den Beginn der Vereinigung ihrer wissenschaftlichen Ansätze in einer neuen Disziplin. Natürlich verkürzt auch diese Ursprungsgeschichte der Kognitionswissenschaft das tatsächliche Entstehen der Disziplin erheblich.⁴³ Trotzdem sollen die hier vorgestellten Arbeiten tatsächlich kanonische Beispiele der frühen Künstlichen Intelligenz, der Computerlinguistik und der kognitiven Psychologie werden. Sie bilden einen wichtigen Teil der konkreten Problemlösungen im Herzen des kognitionswissenschaftlichen Paradigmas – während die Konstellation von Meinungen, Werten und Methoden der rationalistischen Tradition ohnehin bereits existiert und mit den Formalismen der Logik bereits eine gemeinsame Sprache vorliegt, die jetzt durch ihre Ausführbarkeit durch Computer die mehrfach erwähnte neuartige Durchschlagskraft bekommt. Trotz der vielfach beschworenen Interdisziplinarität bildet die Disziplin von Anfang an ein weit weniger heterogenes Feld als etwa die Human-Computer Interaction und es ist die rationalistische Tradition und ihre Formalismen, die sie als normale Wissenschaft zusammenhält. Das Symposium versammelt in diesem Kontext eine erste Zusammenstellung ausgesuchter Beispiele, die sich in der Folge tatsächlich als ausreichend mächtige Verheißungen von Erfolg erweisen werden, um ein neues Kuhn'sches Paradigma etablieren zu können.⁴⁴

42 George A. Miller. »The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information«. In: *Psychological Review* 101.2 (1994 [1956]), S. 343–352.

43 Bereits für Gardner ist ihr Geburtsdatum am Datum des Symposiums – dem 11. September 1956 – lediglich als Konsens von Amateurhistorikern anzusehen und er weist ausführlich auf frühere und parallele Entwicklungen hin. Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, S. 28–31. Miller wird nichtsdestotrotz noch 2003 schreiben: „I date the moment of conception of cognitive science as 11 September, 1956, the second day of a symposium organized by the »Special Interest Group in Information Theory« at the Massachusetts Institute of Technology.“ Miller, »The cognitive revolution: a historical perspective«, S. 142.

44 Für eine Diskussion der Kognitionswissenschaft und der zeitgenössischen Kritik daran vor dem Hintergrund des – sich von Kuhns Paradigmenbegriff abhebenden – Begriffs des „Forschungsprogramms“ von Imre Lakatos vergleiche Schumann, »Embodied Cognitive Science: Is it Part of Cognitive Science? Analysis within a Philosophy of Science Background«. Zur weiteren Entwicklung der „klassischen“ Kognitionswissenschaft vergleiche Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*. Zu ihren Anfängen vergleiche Miller, »The cognitive revolution: a historical perspective«.

5.1.3 *A poorly loved parent*

Zu den „Key Theoretical Inputs to Cognitive Science“ gehört natürlich auch die Kybernetik.⁴⁵ Der interdisziplinäre Anspruch dieser Universalwissenschaft (der sich so deutlich in der Zusammenstellung der Macy-Konferenzen manifestiert) findet sich ebenso in der Kognitionswissenschaft wieder, wie Wieners Wille den Behaviorismus zu überwinden und die Annahme, dass das Verhalten von Menschen und Maschinen unter dem Gesichtspunkt ihrer Funktion als gleich betrachtet werden kann. Darüber hinaus sind nicht nur Information, sondern zunächst auch Feedback wichtige Begriffe, die die neue Disziplin aus dem Umfeld der Kybernetik übernimmt. Allerdings bestehen von Anfang an auch entscheidende Unterschiede zwischen beiden Disziplinen und „Wiener’s synthesis was not ultimately the one embraced by cognitive science.“⁴⁶

Mit „The Mechanization of the Mind“⁴⁷ hat Jean-Pierre Dupuy, selbst ein wichtiger Vertreter der Kognitionswissenschaft in Frankreich und den USA, eine Geschichte der Disziplin vorgelegt, die sich vor allem an ihrem Verhältnis zur Kybernetik abarbeitet – und deren zentrales Anliegen die Rettung des vergessenen kybernetischen Erbes der Kognitionswissenschaft ist. Den entscheidenden Unterschied von Kognitivismus und Kybernetik macht er in der jeweiligen Rolle aus, die Repräsentationen und Modelle in ihnen spielen.⁴⁸ Der Kognitivismus, so Dupuy, versucht, Bedeutung im Denken zu erfassen, indem er das Denken zur Manipulation bedeutungstragender Symbole erklärt, die als modellhafte Repräsentationen einer Umwelt zu verstehen sind. Die Kybernetik versuche dagegen bedeutsames Handeln zu simulieren, ohne Bedeutung und Repräsentationen vorauszusetzen. Beide Paradigmen versuchen das Denken zu naturalisieren. Aber die Physik des Kognitivismus ist eine „philosopher’s physics“ voller vorausgesetzter Bedeutung und Intentionalität, für die Denken Logik bedeutet, während die Physik der Kybernetik die „true physics“ eben der Physik ist⁴⁹.

Die Probleme der Kognitionswissenschaft rühren damit daher, dass einerseits das symbolische Rechnen nicht all das abdeckt, was wir als Bedeutung verstehen, weil es „konsequenterweise einen Großteil der menschlichen Sprache aus[blendet]“⁵⁰. Andererseits ist auch nicht klar, wie das Verhältnis bedeutungstragender Symbole zur Welt der Physik aussehen soll, da die Physik zunächst keine Repräsentation kennt. Der Kognitivismus versucht, Gründe im Sinne eines „decision

45 Gardner, *The Mind’s New Science. A History of the Cognitive Revolution*, S. 19-21. Vergleiche hierzu auch Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, S. 37-38.

46 Gardner, *The Mind’s New Science. A History of the Cognitive Revolution*, S. 21.

47 Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*.

48 Vergleiche hierzu ebd., S. 9-15.

49 Ebd., S. 1.

50 Coy, »Nachwort: Ein post-rationalistischer Entwurf«, S. 306.

making“ oder „problem solving“ als Ursachen im Sinne der Physik zu begreifen⁵¹, die Kybernetik kennt keine Gründe und ihre Ursachen bedingen sich zirkulär. Der Materialismus des Kognitivismus trägt daher, anders als die Kybernetik im Sinne Dupuys, ein Paradox in sich, das bis heute nicht aufgelöst wurde: Denken, Bedeutung und Subjekt werden als Teil der physischen Welt verstanden, zugleich aber wird das Subjekt außerhalb dieser Welt platziert, wenn ihm ein Denken in den Symbolen und Repräsentationen der *philosopher's physics* zugeschrieben wird.⁵²

Bedeutung ist in den Symbolen dieser Physik immer schon vorhanden – und kann verarbeitet werden.⁵³ Ihr Materialismus versucht, den Mentalismus als Funktionalismus zu retten. So hält Miller rückblickend fest: „If scientific psychology were to succeed, mentalistic concepts would have to integrate and explain the behavioral data. We were still reluctant to use such terms as »mentalism« to describe what was needed, so we talked about cognition instead.“⁵⁴ Die Kybernetik dagegen redefiniert Bedeutung ohne Rückgriff auf das Mentale und Subjektivität.⁵⁵ Sie versucht den Mensch zu mechanisieren – um ihn als Maschine neu zu verstehen.⁵⁶

Wie sehr der Computer für das Entstehen der Kognitionswissenschaft nicht nur, wie Newell festhält, historisch verantwortlich ist⁵⁷, sondern Ausdruck des selben Denkstils, dem beide entstammen und der ihnen als „rationalistische Tradition“ vorausgeht, zeichnet Dupuy nach, wenn er sowohl das Artefakt Computer als auch den Kognitivismus als Ausdruck dieses Denkstils definiert. Wissenschaftliches Verständnis, argumentiert er, besteht in dieser Tradition darin, ein (formales) Modell des zu Verstehenden zu besitzen. Und genau das ist mit Kognition gemeint: „For cognitive science, every »cognitive system« stands in the same relation to the world as scientists to the object of their science.“⁵⁸ Das Denken („mind“) der Kognitionswissenschaft ist so als die Fähigkeit zu verstehen, Modelle zu besitzen und regelgeleitet auf ihnen operieren zu können. So ist nach Dupuy die Idee vom „informationsverarbeitenden System“ zu verstehen.⁵⁹

Dass sich der Kognitivismus so deutlich von der Kybernetik absetzen sollte, ist für Dupuy ein „unhappy accident“⁶⁰. Bis heute ist die

51 Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, S. 12-13.

52 Ebd., S. 22.

53 Nicht umsonst ging zum Beispiel das „Institut für Kognitionswissenschaft“ der Universität Osnabrück aus dem „Institut für Semantische Informationsverarbeitung“ hervor, vergleiche <http://ikw.uni-osnabrueck.de/de/ikw/ueberblick>, zuletzt abgerufen am 24.08.2014.

54 Miller, »The cognitive revolution: a historical perspective«, S. 142.

55 Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, S. 14.

56 Ebd., S. 51.

57 Newell, »Information processing: a new technique for the behavioral sciences«, S. 19.

58 Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, S. 32.

59 Ebd., S. 32-33.

60 Ebd., S. 14.

Kybernetik ein „poorly loved parent“⁶¹ und es gilt: „mainstream discussions of the historical origins of cognitive science often lack a reference to the cybernetics era altogether“⁶². Mehr noch: die Kognitions-wissenschaft bleibt „afraid of its cybernetic heritage“⁶³. Denn genau die Folgen eines konsequent verstandenen kybernetischen Funktio-nalismus, die die Grundlagen einer epistemischen Erschütterung bil-den, werden von Computerfunktionalismus durch die Voraussetzung „mentalistic“ Kognition ignoriert. Die Kognitions-wissenschaft formuliert damit aus, was nach Dupuy die eine mögliche Reaktion auf die Abschaffung des Subjektes ist, die in der Kybernetik von Anfang an angelegt ist⁶⁴ – während die andere Möglichkeit in den Ansätzen besteht, die sich weitgehend unabhängig von ihr als Kybernetik zweiter Ordnung, kognitive Biologie, Systemtheorie oder Konstruktivis-mus entwickeln sollten. Obwohl in der Kognitions-wissenschaft also zahlreiche Annahmen, Konzepte und Personen aus der Kybernetik eine Rolle spielen, und obwohl sie mit der *philosopher's physics* einen „return to metaphysics“⁶⁵ vollzieht, der als direkte Reaktion auf die Kybernetik zu verstehen ist, stellt sie so zugleich das Ende radikal kybernetischen Denkens dar: „cognitive science's cybernetic origins were ignored *precisely to the extent* to which cybernetics already harbo-red the tendencies that only found their fuller expression within the second-order approach.“⁶⁶ Damit das kognitivistische Paradigma zu einer eigenständigen Disziplin werden kann, muss es sich zunächst disziplinieren. „[T]o become established as a science in its clear-cut cognitivist orientation, the future cognitive science had to sever itself from its roots, which were complex and entangled but also rich with possibilities for growth and development.“⁶⁷

Eine überraschend Fleck'sche Begründung für diese Entwicklung findet sich in dem wohl bekanntesten Lehrbuch zur Künstlichen In-telligenz. Kybernetik spielt hier nur im historischen Abriss der Vorge-schichte dieser Disziplin eine Rolle. Und obwohl, so heißt es hier, die Regelungstechnik (paradoxerweise in der Rolle als Erbe der Kyberne-tik) und die Künstliche Intelligenz doch augenscheinlich die gleichen Ziele verfolgen – „designing systems that behave optimally“⁶⁸ – seien beide genau deshalb verschiedene Disziplinen, weil sich der Denkstil ihrer jeweiligen Gründer unterscheidet: „The answer lies in the close

61 Ebd., S. 43.

62 Tom Froese. »From Second-order Cybernetics to Enactive Cognitive Science: Varela's Turn From Epistemology to Phenomenology«. In: *Systems Research and Behavioral Science* 28.6 (2011), S. 631–645, S. 634.

63 Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, S. 3.

64 Ebd., S. 150.

65 Ebd., S. 148.

66 Froese, »From Cybernetics to Second-Order Cybernetics?: A Comparative Analysis of Their Central Ideas«, S. 77, Hervorhebung von mir.

67 Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Expe-rience*, S. 37.

68 Stuart Russel und Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3. Aufl. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010, S. 15.

coupling between the mathematical techniques that were familiar to the participants and the corresponding sets of problems that were encompassed in each world view.“⁶⁹ Denn die Kybernetik basiere auf dem (ingenieurwissenschaftlichen) Denken in physikalischen Systemen, Analysis und Algebra, die Kognitionswissenschaften dagegen auf der Arbeit mit Sprache, Planen, Logik und digitalem Rechnen.

Neben den unterschiedlichen Denkstilen und Kulturen, in denen beide Disziplinen verwurzelt sind, ist der wichtigste Grund für diesen Unfall aber wohl das Zusammentreffen, das sich im Training für das SAGE manifestiert. Hier, wo die rationalistische Sicht, nach der Denken „decision making“ ist, mit dem Dispositiv der Interaktion, der Feedbackmaschine und damit einerseits der mechanischen Symbolmanipulation, andererseits der Interpretation symbolischer Darstellungen konfrontiert wird, kann das eine mit dem anderen gleichgesetzt werden.

Während also die Vertreter der Kognitionswissenschaft und der Künstlichen Intelligenz nicht müde werden, die Rolle des Computers als Katalysator dieser Entwicklung zu betonen, ist die der Computerbedienung vielleicht ebenso wichtig. Der Satz „Within the simulated training environment, Newell came to view the human operators, too, as »information processing systems« (IPS) which processed symbols just as his program »processed« the symbols of simulated radar blips.“ beschreibt, wie hier aus dem Studium konkreter Menschen an konkreten Rechnern eine Wissenschaft vom Menschen als abstrakter Rechner wird.

Es ist dieser Mensch, der zumindest eine Zeit lang im Zentrum der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Computerbedienung stehen wird.⁷⁰ Denn die Idee der Informationsverarbeitung wird die *trading zone* der Interaktionsforschung nachhaltig beeinflussen – so weit, dass sie, zumindest im englischen Sprachraum, beinahe den Status eines Paradigmas bekommt, das in der Lage ist, die Kulturen des Feldes zu vereinen. Wie die folgenden Abschnitte zeigen werden, scheinen erstens die Modelle der Kognitionswissenschaft das zu sein, was zu einem Verständnis des Menschen am Rechner bisher gefehlt hat.⁷¹ Und zweitens zeigt die frühe Interaktionsforschung muster-gültig, wie der Informationsbegriff bei seiner Übersetzung aus dem Umfeld der Kybernetik in das der Informationsverarbeitung transformiert wird – und dabei aufhört „Information“ zu sein.

⁶⁹ Russel und Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, S. 15.

⁷⁰ Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 18, Winograd, »Shifting viewpoints: Artificial intelligence and human-computer interaction«.

⁷¹ Hierzu und zu den folgenden Ausführungen vergleiche auch Scherffig und Troge-mann, »Über das Warten beim Rechnen – Synchronisationsstrategien in parallelen und interaktiven Systemen«.

5.2 VOM MENSCH ZUM USER

5.2.1 H-LAM/T

Am 9. Dezember 1968 zeigt der Ingenieur Douglas Engelbart am *Augmentation Research Center* (ARC) des *Stanford Research Institute* (SRI) die „Mother of all Demos“⁷²: Vor einem „staunenden Fachpublikum“ demonstriert er ein „interaktives Computersystem zur Unterstützung intellektueller Tätigkeiten, mit dem sich Dokumente erstellen und manipulieren ließen, die Text und Grafik beinhalteten, mit dem man komplexe Forschungs- und Entwicklungsprojekte planen und überwachen konnte und das es ermöglichte, Dokumente über ein Computernetzwerk an entfernte Computer zu versenden.“⁷³ Das Computersystem heißt *oN-Line System* (NLS) und vereint zum ersten Mal das, was später als *Personal Computer* seinen Siegeszug um die Welt antreten wird. Neben den Praktiken der Computerbedienung, wie Textverarbeitung am Bildschirm oder dem Verlinken von Dokumenten, ist dies vor allem die Verschränkung dieser Praktiken mit einer nachhaltig wirksamen Hard- und Softwarekonfiguration: der Kombination von Bildschirm, Maus und Tastatur mit einem unterbrechbaren Rechner. Und auch wenn das Projekt keinen großen finanziellen Erfolg darstellen wird, sind es Entwickler aus diesem Projekt, die später am *Palo Alto Research Center* (PARC) der Firma XEROX an den berühmten Computern *Alto* und *Star* arbeiten werden, die bis heute als Vorlage für das WIMP-Paradigma gelten – also die Bildschirmarbeit mit *Windows*, *Icons*, *Menus* und *Pointing devices* – und die praktisch alle heutigen Betriebssysteme, wie *Microsoft Windows* oder *Mac OS* zumindest beeinflussen werden.⁷⁴

Die ideelle Vorlage für das NLS heißt *Memex* und stammt von Vannevar Bush.⁷⁵ Dieses hypothetische System zur Abfrage und Organisation von Wissen gilt heute allgemein als konzeptionelles Vorbild interaktiver Rechner.⁷⁶ Für Engelbart ist es direkte Inspiration: Als er nach Ende des Zweiten Weltkriegs im Südpazifik auf die Rückreise

72 Zur Rolle des Demonstrierens von Systemen und Prototypen in der Informatik vergleiche Lunenfeld, *Snap to Grid: A User's Guide to Digital Arts, Media, and Cultures*, S. 13-26. Ein Video der Demo findet sich beispielsweise auf <http://sloan.stanford.edu/MouseSite/1968Demo.html>, zuletzt abgerufen am 24.08.2014.

73 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 139.

74 „[...] there is good reason to question whether the kind of personal computing that exists today would ever have been developed if it had not been for the pathfinding work accomplished by Engelbart and his colleagues.“ Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 203. Vergleiche hierzu auch Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 25.

75 Vannevar Bush. »As we may think«. In: *The Atlantic* (1945), S. 112–124.

76 Press, »Before the Altair: the history of personal computing«, Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 69-71.

in die USA wartet, liest er Bushs Artikel „As We May Think“⁷⁷, der den *Memex* beschreibt – als fiktives analoges Gerät, das sowohl über die Möglichkeit zur Kamera- und Spracheingabe, als auch zur assoziativen Verlinkung von Dokumenten verfügen sollte.⁷⁸ Der *Memex* sollte so als Erweiterung des menschlichen Gedächtnisses dienen: als *MEMory EXtender*.

Nach seiner Rückkehr in die USA arbeitet Engelbart zunächst als Ingenieur, beschließt aber 1951, ein System nach dem Vorbild des *Memex* umzusetzen.⁷⁹ Er schreibt sich an der *University of California* in Berkeley ein, promoviert und bekommt wenig später eine Stelle am SRI. Hier schafft er es schließlich, Geld für die Ausarbeitung seiner Ideen und ab 1964 auch für deren Umsetzung zu bekommen. Aus dem *extender* des Gedächtnisses wird bei ihm eine *augmentation* des Intellekts: Auf den programmatischen Text „Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework“⁸⁰ folgt die Einrichtung des *Augmentation Research Centers* unter seiner Leitung und die Arbeit am NLS beginnt.

Der Weg, den Engelbart damit einschlägt, folgt wenig überraschend dem Dispositiv der Interaktion, wie wir es oben kennengelernt haben. Er ist keineswegs einfach „a young sailor“⁸¹, sondern Radarelektroniker bei der Marine⁸². In der Verknüpfung der Speicher- und Wiedergabemedien der Radartechnologie des Zweiten Weltkriegs mit den neuen digitalen *Computing Machines* sieht er die Zukunft der Computerbenutzung:

When I first heard about computers, I understood, from my radar experience, that if these machines can show you information on punchcards and printouts on paper, they could write or draw that information on a screen. When I saw the connection between a cathode-ray screen, an information processor, and a medium for representing symbols to a person, it all tumbled together in about half an hour.⁸³

Während Lickliders „religious conversion to interactive computing“⁸⁴ noch *Whirlwind* als Maschine gewordene Verknüpfung von Radar- und unterbrechbarer Rechentechnik voraussetzte, hat bei Engelbart

⁷⁷ Bush, »As we may think«.

⁷⁸ Für eine ausführliche Diskussion vergleiche Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 51-71.

⁷⁹ Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 177.

⁸⁰ Douglas C. Engelbart. *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Techn. Ber. Stanford, CA: Stanford Research Institute, 1962.

⁸¹ Press, »Before the Altair: the history of personal computing«, S. 27.

⁸² Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 139.

⁸³ Zitiert nach Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 177.

⁸⁴ Ebd., S. 137.

also die bloße Erkenntnis, dass so eine Verknüpfung möglich wäre, eine ganz ähnliche Bekehrung zur Folge.

Vor diesem Hintergrund ist die entscheidende Neuerung auf dem Weg zum Personal Computer weniger der Einsatz von Maus, Bildschirm und Tastatur, sondern ihre Anwendung auf die Büroarbeit: „Die Leistung der Forscher in Menlo Park [wo das SRI beheimatet ist] bestand also eher darin, die Technologie der Zielerfassung auf Radarschirmen und die dazu entwickelten militärischen Kontrollgeräte aus einer integrierten Geräteumgebung abzukoppeln und auf das Problem von bildschirmorientierten Computeranwendungen zu übertragen.“⁸⁵, wobei gerade diese bildschirmorientierten Computeranwendungen zu dieser Zeit erst im Entstehen begriffen sind, und sich von nun an in Koevolution mit Ein- und Ausgabegeräten entwickeln.

Das NLS und die Bildschirmarbeit mit Maus und Tastatur ist so zwar mit Leichtigkeit als Folge des Dispositivs der Interaktion lesbar, innerhalb der heterogenen Gesamtheit der frühen Interaktionsforschung hat Engelbart aber auch um 1968 eine Außenseiterposition inne.⁸⁶ Seinen Ideen wird immer wieder mit Skepsis begegnet und Engelbart befindet sich auf einem „Kreuzzug“ innerhalb des Wissenschaftsbetriebs.⁸⁷ Denn von „zwei unterschiedliche[n] Sichtweisen“ in der *trading zone* der Interaktionsforschung, nach denen Computer entweder „autonome Einheit“ im Sinne der Künstlichen Intelligenz oder Werkzeug und Medium seien⁸⁸, bildet erstere in den USA zu dieser Zeit die „Hauptströmung“⁸⁹. Am SRI forscht John McCarthy an einem „superbrain“ und „Engelbart was philosophically opposed to that approach.“⁹⁰ Der „fundamental divide between AI and HCI“⁹¹, der hier zum Ausdruck kommt, begleitet, so Winograd, beide Felder bis heute und ist im Kern der oben entwickelte Widerspruch zwischen rationalistischer Tradition auf der einen und unscharfen „de-

85 Roch, »Die Maus. Von der elektrischen zur taktischen Feuerleitung«, S. 171. Hier findet sich auch eine ausführliche Herleitung der militärischen Genealogien aller materiellen Interface-Komponenten des NLS (vom Bildschirm bis zu den Druckknöpfen auf der Maus).

86 „When he started, Engelbart was thought of as an outsider – and he really felt like an outsider!“ Redaktion Ubiquity. »An Interview with John Markoff: What the dormouse said«. In: *Ubiquity* (2005), S. 1.

87 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 141.

88 Ebd., S. 152-153.

89 Friedewald, »Konzepte der Mensch-Computer-Kommunikation in den 1960er Jahren: J. C. R. Licklider, Douglas Engelbart und der Computer als Intelligenzverstärker«, S. 6.

90 Redaktion Ubiquity, »An Interview with John Markoff: What the dormouse said«.

91 Jonathan Grudin. »Turing Maturing: The Separation of Artificial Intelligence and Human-Computer Interaction«. In: *interactions* 13.5 (2006), S. 54-57, S. 54. John Markoff spricht von einem „philosophical divide“. Redaktion Ubiquity, »An Interview with John Markoff: What the dormouse said«.

sign approaches“ auf der anderen Seite, die die Situiertheit und den Kontext von Interaktion betonen.⁹²

Zwar steht Engelbarts Ansatz als solcher „design approach“ in der Tradition Lickliders, der sich mit „seinem Konzept der »Mensch-Computer-Symbiose« [...] gegen die Hauptströmung der Künstlichen Intelligenz ab[grenzte]“⁹³, und 1961 nimmt Engelbart auch Kontakt zu Licklider auf⁹⁴. Die Förderung von Projekten der Künstlichen Intelligenz durch das von Licklider geführte IPTO der DARPA fällt im Vergleich aber „extraordinary“ aus⁹⁵ und Engelbart wird zwar gefördert, bekommt aber eine „vergleichsweise unbedeutende Rolle“ unter den geförderten Projekten⁹⁶.

Dieser „fundamental divide“ ist allerdings vor allem eine retrospektive Zuschreibung und zur Zeit Engelbarts vielleicht gar nicht als fundamental erkennbar. Newell gilt als Gründervater sowohl der Künstlichen Intelligenz, als auch der Human-Computer Interaction.⁹⁷ Und auch Engelbart ist von der Arbeit von Newell, Simon und Shaw am *General Problem Solver* beeindruckt.⁹⁸ Er hält aber – im Gegensatz zu ihnen – die „Intelligenz“ von Rechnern lediglich für ein Werkzeug unter vielen, das menschlichen Nutzern die Arbeit an ihnen erleichtern könnte.⁹⁹

Neben der herausragenden Rolle, die das NLS historisch, als Ideengeber und Beispiel spielt, eröffnet die Arbeit Engelbarts an diesem System ein weiteres Feld, das die Informationsforschung nachhaltig prägen sollte und das paradoxerweise gerade im Kontext einer kognitionswissenschaftlich orientierten Forschung (in der Folge der rationalistischen Tradition und damit diesseits des „fundamental divide“) Schule machen wird: Er schlägt ein Modell seiner menschlichen Nutzer vor, das im engen Austausch mit empirischer Forschung Grundlage für die Entscheidungen bei der Konstruktion des Systems ist. Es trägt den Namen H-LAM/T oder „Human using Language, Artifacts, Methodology, in which he is Trained.“¹⁰⁰

92 Winograd, »Shifting viewpoints: Artificial intelligence and human-computer interaction«, S. 1257.

93 Friedewald, »Konzepte der Mensch-Computer-Kommunikation in den 1960er Jahren: J. C. R. Licklider, Douglas Engelbart und der Computer als Intelligenzverstärker«, S. 6. Vergleiche auch Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 153.

94 Ebd., S. 163.

95 Grudin, »Turing Maturing: The Separation of Artificial Intelligence and Human-Computer Interaction«, S. 55.

96 Friedewald, »Konzepte der Mensch-Computer-Kommunikation in den 1960er Jahren: J. C. R. Licklider, Douglas Engelbart und der Computer als Intelligenzverstärker«, S. 8.

97 Grudin, »Turing Maturing: The Separation of Artificial Intelligence and Human-Computer Interaction«, S. 54.

98 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 146.

99 Ebd., S. 152-154.

100 Engelbart, *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*, S. 11.

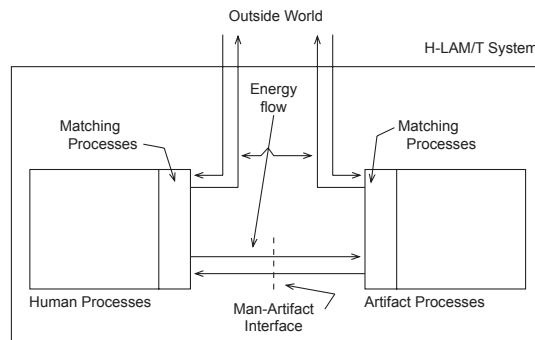


Abbildung 20: H-LAM/T (aus Douglas C. Engelbart. *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Techn. Ber. Stanford, CA: Stanford Research Institute, 1962, S. 20).

Dieses Modell basiert einerseits auf der Annahme, dass sich alles Denken und Handeln in hierarchisch organisierte Subprozesse zerlegen lässt¹⁰¹ – und befindet sich damit noch im Einklang mit der Forschung Newell und Simons. Für den Fall des Handelns am Rechner steht dabei der Prozesshierarchie auf Seiten des Menschen eine vergleichbare Hierarchie auf Seite der Maschine gegenüber (Abbildung 20). Interaktion ist nun die energetische Kopplung eines menschlichen Subprozesses an einen maschinellen.

Andererseits geht es davon aus, dass ein Eingriff in diese Subprozesse egal auf welcher Ebene der Hierarchie, den Prozess als Ganzes beeinflussen wird. Diese Idee stützt Engelbart auf die Arbeit des Linguisten Benjamin Lee Whorf, dessen „linguistisches Relativitätsprinzip“ besagt, dass die Sprache einer Kultur determiniert, in welchen Konzepten diese Kultur denken kann:

The Whorfian hypothesis states that »the world view of a culture is limited by the structure of the language which that culture uses.«¹⁰²

Im Angesicht der algorithmischen Zeichen, auf die die Verknüpfung von Radar- und Rechentechnik hinausläuft, erweitert Engelbart diese Hypothese aber zu einer „Neo-Whorfian hypothesis“:

Both the language used by a culture, and the capability for effective intellectual activity are directly affected during their evolution by the means by which individuals control the external manipulation of symbols.¹⁰³

¹⁰¹ Vergleiche hierzu ebd., S. 8-15, sowie Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 149-162.

¹⁰² Engelbart, *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*, S. 24.

¹⁰³ Ebd.

Ein Eingriff in die Mittel zur Manipulation von Symbolen wird also die gesamte Struktur des möglichen Denkens verändern. Und da menschliche und maschinelle Prozesse in ihrer energetischen Kopplung zusammenkommen, gilt es, die Mittel zur Manipulation von Symbolen genau dort zu optimieren, wo Finger sich bewegen und Lichter erscheinen. In diesem Sinne fällt Engelbart die Entscheidung, Interaktion zunächst auf Ebene der sensomotorischen Kopplung von Gesten an Rechenprozesse zu optimieren, statt „Innovationen von außerhalb abzuwarten, etwa im Bereich der kognitiven Psychologie, der Künstlichen Intelligenz oder bei der Entwicklung von Programmiersprachen.“¹⁰⁴ Eine Entscheidung, die zwar pragmatisch motiviert sein mag, die aber auch eindeutig eine programmatische Entscheidung im Sinne des H-LAM/T ist.

In einer Reihe von Bewegungsstudien lässt Engelbart nun „elementare Prozeduren“¹⁰⁵ sensomotorischer Kopplung untersuchen, um die Brauchbarkeit verschiedener Eingabegeräte im Sinne des H-LAM/T zu bewerten. Die Studie „Display-Selection Techniques for Text Manipulation“¹⁰⁶, die Engelbart zusammen mit den SRI-Ingenieuren William English und Melvyn Berman veröffentlicht, wird nicht nur die dominanten Hardwarekonfigurationen im Dispositiv der Interaktion nachhaltig prägen, sie ist auch Vorlage für einen Ansatz, der das Modell eines Benutzers (in diesem Fall das H/LAM-T) mit empirischen Methoden der Evaluation von Schnittstellen kombiniert und der sich in der *trading zone* der Interaktionsforschung ebenso nachhaltig festschreiben wird, wie die Eingabegeräte, die er durchsetzt.

In der Studie vergleichen die Wissenschaftler den *light-pen* oder Lichtgriffel (eine Light-Gun kleinerer und leichter Bauart) mit verschiedenen anderen Geräten zur zweidimensionalen Auswahl auf einem Kathodenstrahlmonitor: einen Joystick, ein *Grafacon* genanntes Gerät zur Eingabe von Polarkoordinaten, ein selbstentwickeltes Gerät, das unter dem Tisch befestigt und mit dem Knie gesteuert wird, und schließlich eine weitere Eigenentwicklung: die Maus.¹⁰⁷ Die Experimente werden am NLS ausgeführt, aufgezeichnet und ausgewertet – ein Beispiel für Engelbarts „Bootstrapping“-Ansatz, bei dem der aktuelle Stand der Technik deren zukünftige Entwicklung aktiv mitbestimmt.

Wie schon die *operator* des SAGE müssen auch die Versuchspersonen symbolische Darstellungen auf den Bildschirmen des NLS auswählen. Dazu müssen sie zunächst die Leertaste einer Tastatur

104 Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 162.

105 Ebd., S. 181.

106 William K. English, Douglas C. Engelbart und Melvyn L. Berman. »Display-Selection Techniques for Text Manipulation«. In: *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics* 8.1 (1967), S. 5–15.

107 Ebd., §2a - §2f.

drücken, dann mit der selben Hand zum Auswahlgerät greifen, eine Buchstabengruppe oder einen einzelnen Buchstaben auswählen und die Auswahl durch den Druck einer Taste am entsprechenden Auswahlgerät bestätigen. Die Versuchspersonen sind in zwei Gruppen unterteilt: Experten, die mit dem System vertraut sind, und Anfänger, die noch nie mit ihm gearbeitet haben.¹⁰⁸

Die Ergebnisse sind eindeutig: Für Experten ist die Arbeit mit der Maus schneller und akkurater als mit den anderen Eingabegeräten, für Anfänger ist dagegen der *light-pen* und die Eingabe mit dem Knie schneller. Allerdings ist das Gerät zur Eingabe mit dem Knie noch so neu, dass zum Zeitpunkt der Studie keine trainierten Nutzer zur Verfügung stehen.¹⁰⁹ Da das H/LAM-T aber gerade den *trainierten* Benutzer zum Ausgangspunkt einer Verbesserung von *artifact* und *methodology* macht, wundert es wenig, dass das NLS schließlich eine Maus einsetzen wird. Zwar ist die Eingabe mit dem Knie vielversprechend und der Vorteil des *light-pen* eine gefühlte „naturalness“¹¹⁰, das NLS aber ein System „in which he is trained“. Dazu kommt, dass die Monitore des NLS, wie praktisch alle Monitore der frühen Informatik, aufrecht stehen. Der Griff zum *light-pen* und mit dem *light-pen* zum Ziel wird damit schlicht und einfach anstrengender als die Zielauswahl mit der Maus. Die scheinbare „Natürlichkeit“ der Interaktion mit dem *light-pen* wird allerdings sehr viel später noch eine wichtige Rolle spielen.

Bei der berühmten Vorstellung des NLS ist aber die Kombination aus Bildschirm, Tastatur und Maus zu sehen, die sich millionenfach verkaufen wird und die bis heute alltäglich ist. Dieser Erfolg ist aber 1968 noch nicht abzusehen und trotz „standing ovation“¹¹¹ kommt in einer überlieferten Frage im Anschluss an die Präsentation noch deutlich die Diskrepanz zwischen Engelbarts Ansatz und dem Mainstream der Künstlichen Intelligenz zum Ausdruck, der bis zur Ansicht des ONR zurückreicht, Computer sollten vor allem (mathematische) Probleme lösen, die zum Zeitpunkt der Fragestellung bereits fest stehen: „You mean it doesn't run through and answers questions and things like that?“¹¹²

Und trotz der Offensichtlichkeit, mit der das NLS rückblickend als visionäre Vorwegnahme von jahrzehntelang kommerziell erfolgreicher Hard- und Software zu sehen ist, ist dem System selbst keine große Zukunft gegönnt: Zwar wird es kommerzialisiert, den eigentlichen Erfolg werden aber erst Jahre später Produkte wie der *Apple Macintosh* oder *Microsoft Windows* haben. Ein Grund dafür ist viel-

¹⁰⁸ Ebd., §3.

¹⁰⁹ Ebd., §5b1.

¹¹⁰ Ebd., §6a5.

¹¹¹ Rheingold, *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*, S. 188.

¹¹² Zitiert nach Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 217.

leicht gerade der, der dem NLS die Maus beschert hat: Engelbarts Glaube an die entscheidende Rolle des trainierten Nutzers lässt ihn statt einer bewährten Schreibmaschinentastatur eine Einhandtastatur verwenden. Diese verfügt lediglich über fünf Tasten, mit denen sich alle alphanumerischen Zeichen mit einer einzigen Hand codieren lassen – was ein mühsames Erlernen des entsprechenden Codes voraussetzt.¹¹³ Insgesamt ist das System, so „die reichlich negative Einschätzung der NLS-Nutzer: »[...] complicated, hard to learn, poorly documented [...]«“¹¹⁴. Vor allem aber sollte es schlicht und einfach noch einige Jahre dauern, bis der passende *human* zum neuen *artifact* und der neuen *methodology* seiner Bedienung vollständig war.

5.2.2 Neue Menschen

Auch wenn Licklider bereits 1960 den Begriff der Interaktion im heutigen Sinne gebraucht, braucht nicht nur die Disziplinbildung der Human-Computer Interaction bis in die 1980er Jahre. Das selbe gilt auch für die Entstehung ihres vollen Namens. Das wahrscheinlich erste Buch, das ihn im Titel trägt, ist „The Psychology of Human-Computer Interaction“, das 1983 erscheint. Autor des Buches ist neben Stuart Card und Thomas Moran Allen Newell.¹¹⁵

Kurz zuvor war die ACM *Special Interest Group on Social and Behavioral Computing* (SIGSOC) in *Special Interest Group on Computer-Human Interaction* (SIGCHI) umbenannt worden. Die Initiative dazu bestand seit 1978 und wurde von Vertretern der Human Factors vorangetrieben, da sich der Fokus der SIGSOC von der Anwendung von Computern in der Psychologie und Soziologie hin zur Anwendung dieser Felder auf die Gestaltung der Computer verschoben – wenn nicht gar umgekehrt – hatte.¹¹⁶ Die Umbenennung verleiht der Tatsache Ausdruck, dass zu dieser Zeit die Frage der Interaktion in der amerikanischen Informatik langsam als Frage eines eigenständigen disziplinären Feldes anerkannt wird.¹¹⁷

Aus den *controls* zur Computerbedienung werden im Zuge dieser Entwicklung Interfaces (oder Schnittstellen) zur Interaktion und die *operator* werden zu Usern. Card, Moran und Newell halten in ihrem Buch fest: „But the user is not an operator. He does not operate the computer, he communicates with it to accomplish a

¹¹³ Licklider wird sich Jahre später erinnern, dass Engelbart vielleicht der *Einzige* ist, der überhaupt solch ein Keyboard verwendet – denn „it takes a good bit of learning.“ Licklider, »Some Reflections on Early History«, S. 119.

¹¹⁴ Friedewald, *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, S. 235.

¹¹⁵ Stuart K. Card, Thomas P. Moran und Allen Newell. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ und London: Lawrence Erlbaum Associates, 1983, Hervorhebung von mir.

¹¹⁶ Lorraine Borman. »SIGCHI: the early years«. In: *ACM SIGCHI Bulletin* 28.1 (1996), S. 4–6.

¹¹⁷ Ebd., S. 4.

task.“¹¹⁸ Womit sie noch einmal illustrieren, wie nachhaltig die Quasi-Kommunikation das Denken der Human-Computer Interaction beeinflusst und wie wenig sich der Interaktionsbegriff auf seine *entweder* technische *oder* soziale Bedeutung festlegen lassen will.

Dass Newell dabei eine wichtige Rolle spielt, hängt nicht nur mit der Tatsache zusammen, dass er zu den ersten gehört, die sich am SRL mit den Schnittstellen von Computern und der Ausbildung ihrer Benutzer befassen. Vor allem liefert Newell mit der Kognitions-wissenschaft eine Psychologie, die, wie gezeigt, von Anfang an eine Psychologie des Menschen am Computer ist.

Mit dieser Wissenschaft im Rücken hatte er bereits 1971 dem XEROX PARC ein „Applied Information-processing Psychology Project (AIP)“ vorgeschlagen.¹¹⁹ Das Projekt startet 1974 unter der Leitung von Card und Moran, Newell wird als Berater verpflichtet. Während seiner Laufzeit arbeitet unter anderem English im Nachbarlabor an der Konstruktion eines „experimental interactive office-information system“¹²⁰, das später zum XEROX *Star* und *Alto* führen wird. Das AIP findet so im unmittelbaren Kontext der Fortsetzung der Arbeit des *Augmentation Research Center* statt, die hier auch personell fortgeführt wird. Es wird aber nicht nur die Gestaltung des XEROX *Star* und dessen berühmterer Erben beeinflussen. Vor allem wird das AIP ein paradigmatisches Beispiel für die Anwendung der Psychologie auf Fragen der Informatik liefern, die schließlich hinter der Umbenennung der SIGSOC in SIGCHI stehen sollte.

In diesem Sinne betonen Card und Moran rückblickend, dass die Motivation hinter dem AIP der Wunsch nach einem wissenschaftlichen Verständnis des bisher in der Konstruktion von Computerschnittstellen vernachlässigten menschlichen Benutzers gewesen sei. Den etablierten empirischen Methoden der Evaluation aus den Human Factors wollen sie die Modelle der Kognitionswissenschaft an die Seite stellen: „a technical understanding of the user himself and of the nature of human-computer interaction“¹²¹, das (anders als das Verständnis des „human being as a servo“) eine „science of the user rooted in cognitive theory“¹²² sein soll. Sie sind also nicht nur an einer indirekten Weiterentwicklung des NLS beteiligt, sie knüpfen damit auch direkt an Engelbarts Ansatz an, mit empirischer Evaluation in Kombination mit einem Benutzermodell zu arbeiten – treiben diesen Ansatz aber, wie im kommenden Abschnitt zu sehen ist, auf die Spitze. Denn hier wird das Benutzermodell zu einem formalen und algorithmischen Modell im Sinne der Kognitionswissenschaft. Und

¹¹⁸ Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 7.

¹¹⁹ Stuart K. Card und Thomas P. Moran. »User Technology: From Pointing to Pondering«. In: *Proceedings of the ACM Conference on The history of personal workstations*. 1986, S. 183–198, S. 183.

¹²⁰ Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. ix.

¹²¹ Card und Moran, »User Technology: From Pointing to Pondering«, S. 183.

¹²² Ebd., S. 184.

während sich Engelbart mit seiner pragmatisch-programmatischen Konzentration auf die sensomotorische Kopplung von Mensch und Rechner doch tendentiell jenseits der Kluft von Künstlicher Intelligenz und unscharfen Design-Ansätzen befindet, ist sein Erbe damit vollständig auf Seiten des Mainstream zu finden.

Newell selbst scheint sich 1971 wohl bewusst zu sein, dass der neue User, den er dem alten *operator* gegenüber stellt, vor allem deshalb neu ist, weil das Dispositiv der Interaktion nicht nur seinen Handlungskontext, sondern auch ihn selbst erst erzeugt: „There is emerging a psychology of cognitive behavior that will permit calculation of behavior in new situations and with *new humans*...“ schreibt er in dem Memo, mit dem er das AIP vorschlägt.¹²³ Hier mag Engelbarts „Neo-Whorfian hypothesis“ der Veränderung des Menschen durch die Veränderung seiner Mittel der Symbolmanipulation anklingen. Die Arbeit von Card, Moran und Newell wird in der Folge aber vor allem der „calculation of behavior“ dienen: Sie entwickeln ein kognitionswissenschaftliches Modell des Problemlösens am Rechner, das die Idee des informationsverarbeitenden Systems ernst nimmt und den menschlichen Computernutzer als abstrakten „Model Human Processor“ (MHP) formal definiert. Ganz im Sinne der Idee vom Computer als „analytic device“ können die entstehenden Modelle ausgeführt (oder simuliert) und im Vergleich mit empirischen Daten bewertet werden. Und natürlich können sie so auch der Konstruktion und Bewertung von Schnittstellen dienen: Eine Folge dieses Projekts ist die Zahl der Tasten auf der Computermaus des *Star* (zwei).¹²⁴ Der Prozess, der den neuen User erschaffen wird, der nicht länger von Systemen wie dem NLS und seinen Erben überfordert ist, wird allerdings noch genauer anzuschauen sein. Zunächst aber soll gezeigt werden, wie in Projekten wie dem AIP der Informationsbegriff in den der Informationsverarbeitung übersetzt und dabei transformiert wird.

5.3 MODELLE UND GESETZE

5.3.1 *Der Model-Human Processor*

Der *Model-Human Processor* ist die denkbar expliziteste Darstellung eines Menschen am Rechner als informationsverarbeitendes System: Er besteht, wie Newell seit 1956 weiß, aus einer Menge von „memories“ und „processes“¹²⁵, die jetzt „memories“ und „principles of operation“ heißen und von drei „processors“ genannten Modulen ausgeführt werden: Je eines für Eingabe („perceptual system“), Ausga-

123 Card und Moran, »User Technology: From Pointing to Pondering«, S. 183, Hervorhebung von mir.

124 Ebd., S. 189.

125 Newell und Simon, »The logic theory machine – A complex information processing system«, S. 62.

be („motor system“) und Verarbeitung („cognitive system“).¹²⁶ Diese Systeme können wiederum Subkomponenten besitzen. So verfügt etwa das *cognitive system* über ein visuelles und auditorisches Kurzzeitgedächtnis. Und den Komponenten können Parameter wie Speicherkapazität, Speicherdauer, Kodierungstyp und Schaltzeit („cycle time“) zugeordnet werden.¹²⁷ Es entsteht eine „simplified architecture of the user, described in terms of three processors, four memories, 19 parameters of these, and 10 principles of operation“¹²⁸. Als Vorlage für diese abstrakte Architektur des Computerbenutzers dient, wenig überraschend, ein Modell zur Beschreibung von Rechnerarchitekturen, das ebenfalls von Newell entwickelt worden war.¹²⁹

Auf dieses Modell des menschlichen Rechners können dann Modelle seines Handelns aufsetzen. Das GOMS-Modell, zum Beispiel, zerlegt das Problemlösen in strenger Tradition der Arbeit Newell und Simons in „Goals“, „Operators“, „Methods“ und „Selection Rules“, wobei die *Operators* elementare Operationen, *Methods* Kombinationen von Operationen und die *Selection Rules* Kontrollstrukturen bezeichnen.¹³⁰ Da die elementaren Operationen von den drei Prozessoren des MHP ausgeführt werden und deren zeitliches Verhalten über ihre Parameter bestimmt ist, lässt sich so die Dauer jeder Aufgabe am Rechner voraussagen, wenn die entsprechenden *Methods* und *Selection Rules* bekannt sind. Diese werden experimentell bestimmt, etwa indem alle Benutzereingaben beim Lösen einer gegebenen Aufgabe vom Computer protokolliert werden. Die Vorhersagen, die sich durch den Einsatz der so erhaltenen Modelle machen lassen, sind relativ akkurat: „even the crude models seemed to capture and predict behavior fairly well.“¹³¹ GOMS wird schließlich zu einem anwendbaren „engineering tool“ namens „Keystroke-Level Model“ vereinfacht¹³² – schließlich hatte Newell XEROX einen „substantial payoff (in dollars)“¹³³ versprochen. Dazu wird die Vorhersage der Dauer einer Problemlösung auf das Bilden der Summe der Dauern ihrer elementaren Operationen reduziert: „**K** (keystroking), **P** (pointing), **H** (homing) and **D** (drawing), one mental operator **M**, and a system response operator **R**“¹³⁴ bilden so die Summanden zur Vorhersage der Bedien-

126 Was der Aufteilung der Komponenten eines Computers nach der Von-Neumann-Architektur entspricht, die wiederum in Analogie zum menschlichen Zentralnervensystem gedacht worden war. Vergleiche Neumann, *First Draft of a Report on the ED-VAC*, S. 2-3.

127 Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 24-25.

128 Card und Moran, »User Technology: From Pointing to Pondering«, S. 185.

129 Ebd.

130 Vergleiche Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 139-192.

131 Card und Moran, »User Technology: From Pointing to Pondering«, S. 187.

132 Ebd.

133 Ebd., S. 183.

134 Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 262.

performanz durch eine einfache Bierdeckelrechnung, eine „»back-of-the-envelope« [...] calculation“¹³⁵:

$$T_{\text{execute}} = T_K + T_P + T_H + T_D + T_M + T_R$$

Neben Engelbarts Ansatz der Verknüpfung von Modell und Empirie und der Arbeit Newell und Simons ist eine weitere Vorarbeit zu dieser Modellierung der Computernutzung in einer Phase psychologischer Forschung zu finden, die noch im regelungstechnischen Denkstil verwurzelt ist und den Informationsbegriff noch im Sinne Shannons gebraucht – während sich dessen Ersetzung durch den Begriff der Informationsverarbeitung bereits anbahnt. Hier sind vor allem Millers Arbeit zur *Magical Number Seven* und *Fitts' Law* zu nennen, die sich beide als Parameter im MHP und bis heute als Beispiele in den meisten Einführungen in die Human-Computer Interaction wiederfinden und die menschliches Handeln zunächst als Informationsübertragung begreifen.

5.3.2 Information und Verarbeitung

Fitts' Law

Der Psychologe Paul Fitts arbeitet seit den späten 1940er Jahren an der Evaluation von Flugsicherungssystemen – die als zivile Entsprechungen von SAGE diesem System bis hin zu den Interfaces gleichen. Mehr noch: wie Newell ist auch er mit dem Training des entsprechenden Personals betraut.¹³⁶ Fitts ist ein Vertreter der Human Factors und steht eindeutig in der Tradition einer Regelungstechnik, für die Menschen als Feedbacksysteme zu verstehen sind. In seiner Studie „The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement“¹³⁷, die *Fitts' Law* zu Grunde liegen wird und erstmals 1954 erscheint, schreibt er: „Strictly speaking, we cannot study man's motor system at the behavioral level in isolation from its associated sensory mechanisms. We can only analyze the behavior of the entire receptor-neural-effector system.“¹³⁸ Wenn ein Subjekt S eine motorische Handlung ausführt, geschieht diese Ausführung unter ständiger Kontrolle durch Feedback. Daher ist vom

¹³⁵ Card und Moran, »User Technology: From Pointing to Pondering«, S. 188.

¹³⁶ Für einen Rückblick auf diese Arbeit vergleiche Paul M. Fitts u. a. »Some Concepts and Methods for the Conduct of System Research in a Laboratory Setting«. In: *Symposium on Air Force Human Engineering, Personnel and Training Research*. Hrsg. von Glen Finch und Frank Cameron. Washington D.C.: National Academy of Sciences – National Research Council, 1958, S. 174–187.

¹³⁷ Paul M. Fitts. »The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement«. In: *Journal of Experimental Psychology: General* 121.3 (1992 [1954]), S. 262–269.

¹³⁸ Ebd., S. 262.

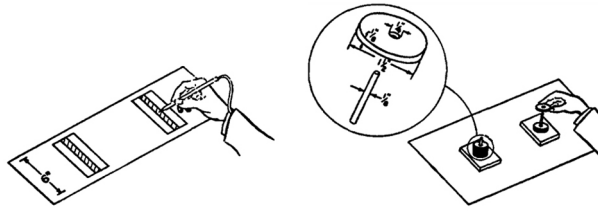


Abbildung 21: Fitts' Experimente zur Bestimmung der Kanalkapazität menschlicher Motorik (aus Paul M. Fitts. »The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement«. In: *Journal of Experimental Psychology: General* 121.3 (1992 [1954]), S. 262–269, S. 384, 386).

motorischen System eines Subjekts nur unter Einschluss der es regulierenden Feedback-Loops zu sprechen: „The motor system in the present case is defined as including the visual and proprioceptive feedback loops that permit S to monitor his own activity.“¹³⁹

Fitts möchte nun zeigen, dass sich dieses System als Kanal im Sinne Shannons begreifen lässt. Bewegung würde so zur übertragenden Information und die Größe, die die bisherigen empirischen Ergebnisse zu Geschwindigkeit, Entfernung und Korrektheit ausgeführter Bewegung miteinander verbindet, würde dessen Kapazität. Um diese Kapazität messen zu können, entwirft Fitts Experimente, in denen Amplitude und Fehlertoleranz von Bewegungen kontrolliert werden, wobei diese Bewegungen mit maximaler Geschwindigkeit auszuführen sind. Dazu ist etwa ein Metallstift zwischen zwei Metallplatten wiederholt hin und her zu bewegen, während Größe (Fehlertoleranz) und Abstand (Amplitude) der Platten variiert werden. Die Messung der Bewegung übernimmt der Stift, der bei Berührung mit den Platten einen Stromkreis schließt.¹⁴⁰ In weiteren Experimenten wird der Stift durch Scheiben ersetzt, die von einem Stab auf den anderen oder Stäbe, die von einem Lochstreifen in den anderen gesteckt werden müssen (Abbildung 21).

Seit Shannons mathematischer Informationstheorie ist die Kapazität C eines gestörten Kanals als Funktion seiner Bandbreite B , der Stärke des übertragenden Signals S und des Rauschens N definiert, wobei die Größe $\frac{S}{N}$, die hier in leichter Abwandlung auftaucht, bis heute als „signal-to-noise ratio“ eine wichtige technische Eigenschaft von Kommunikationskanälen darstellt:¹⁴¹

$$C = B \log_2 \frac{S + N}{N}$$

¹³⁹ Ebd.

¹⁴⁰ Ebd., S. 263–264.

¹⁴¹ Formuliert als Theorem 17 in Shannon und Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, S. 100. Vergleiche hierzu I. Scott MacKenzie. »Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction«. In: *Human-Computer Interaction* 7.1 (1992), S. 91–139, S. 95.

Fitts arbeitet mit einer vereinfachenden Annäherung an dieses Theorem, die er ebenfalls aus der Nachrichtentechnik übernimmt.¹⁴²

$$C = B \log_2 \frac{S}{N}$$

Die Signalstärke S wird nun zur Amplitude A der Bewegung, das Rauschen N zur Größe W des zu treffenden Ziels, das genau dann toleranter gegenüber Fehlern ist, wenn es größer ist. Fitts misst nun die Performanz seiner Versuchspersonen mit Hilfe eines in Bits pro Sekunde gemessenen „index of performance“ I_P , der sich direkt aus dieser Formel ableiten lässt, wenn man sie durch die „movement time“ t teilt.¹⁴³

$$I_P = -\frac{1}{t} \log_2 \frac{W}{2A}$$

Er kommt zu dem Ergebnis, dass dieser Index in seinen Experimenten relativ konstant bleibt, wenn Amplitude, Fehlertoleranz und gemessene Zeit eingesetzt werden und sieht damit seine Hypothese bestätigt, dass es möglich ist, der menschlichen Motorik eine informationstheoretische Kanalkapazität zuzuweisen.¹⁴⁴

Für die Human-Computer Interaction wird dieses Ergebnis zu einem wichtigen Gesetz werden, das bis heute zu den „most robust, highly cited and widely adopted models to emerge from experimental psychology“¹⁴⁵ gehört. Es sind English, Card und Betty J. Burr, die es während ihrer gemeinsamen Arbeit am PARC zum ersten Mal explizit im Kontext der Informatik einsetzen.¹⁴⁶ Fitts' Arbeit ist zwar aus einem ähnlichen Problemfeld heraus geboren, verortet sich mit der Veröffentlichung im *Journal of Experimental Psychology* aber eindeutig in der Experimentalpsychologie und begreift die Bedienung von Computern nicht als eigenständiges Problemfeld. In einer Studie zur Geschwindigkeit der Textauswahl mit Maus, Joystick und Tastatur¹⁴⁷ setzen English, Card und Burr direkt die Arbeit fort, die English mit Engelbart begonnen hatte, und verknüpfen sie mit Arbeiten in

142 Ein Schritt, der zwar zu einfacheren Formeln führt, aber weder notwendig noch notwendigerweise sinnvoll oder – im Kontext von Fitts' Experimenten – gar zulässig ist. Vergleiche hierzu I. Scott MacKenzie. »A Note on the Information-Theoretic Basis for Fitts' Law«. In: *Journal of Motor Behavior* 21 (1989), S. 323–330.

143 Da $\log_2 \frac{2A}{W} = -\log_2 \frac{W}{2A}$, wobei die Verwendung der doppelten Amplitude $2A$ verhindern soll, dass der Ausdruck $\log_2 \frac{W}{2A}$ negativ wird.

144 Fitts, »The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement«, S. 267–268.

145 MacKenzie, »Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction«, S. 93.

146 Ebd. Vergleiche auch I. Scott MacKenzie. »Reflections on Card, English, and Burr«. In: *HCI Remixed: Essays on Works That Have Influenced the HCI Community*. Hrsg. von Thomas Erickson und David W. McDonald. Cambridge, MA: MIT Press, 2008, S. 289–292.

147 Stuart K. Card, William K. English und Betty J. Burr. »Evaluation of Mouse, Rare-Controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection on a CRT«. In: *Ergonomics* 21.8 (1978), S. 601–613, S. 601.

der Tradition Fitts'. Dabei kommt eine Reformulierung des Gesetzes zum Einsatz, die aus dem informationstheoretischen Zusammenhang von Bitrate, Zielgröße und Amplitude einer Bewegung ein Instrument macht, das den Einfluss eines Eingabegeräts auf die Geschwindigkeit einer korrekten Auswahl am Bildschirm beschreibt und vergleichbar macht und das nach einigen Anpassungen¹⁴⁸ bis heute wie folgt verwendet wird (wobei MT weiterhin die „movement time“ bezeichnet):

$$MT = a + b \log_2 \frac{A + W}{W}$$

Aus der „signal-to-noise ratio“ wird so ein „speed-accuracy trade-off“¹⁴⁹. Die Konstanten a und b sind Materialkonstanten, die Eigenschaften des Eingabegeräts darstellen, wobei a die Zeit vor der eigentlichen Bewegung und b ihre geräteabhängige Geschwindigkeit bezeichnet. Der Vergleich von Eingabegeräten wird so zur Bestimmung und zum Vergleich von a und b .

Dieses Gesetz wird eine wichtige Rolle in der Formulierung des MHP spielen, in den es als Operationsprinzip P5 Einzug hält.¹⁵⁰ Als aber Card, Moran und Newell *Fitts' Law* in den MHP übertragen, unterziehen sie das Gesetz einer „periphrastischen“ Umschreibung, die sich nicht länger argumentativ auf Shannon und seine Theorie technisch verstandener Kommunikation bezieht. Sie gehen dagegen von der Annahme aus, dass sich die Dauer einer ausgeführten Bewegung als Summe der Dauern einzelner Teilbewegungen beschreiben ließe, die von den jeweiligen Schaltzeiten des kognitiven, perzeptuellen und motorischen Prozessors des MHP bestimmt werden. Jede Teilbewegung wird so als Abfolge aus der Beobachtung der Hand (die einen Schaltzyklus des Wahrnehmungsprozessors beansprucht), Entscheidung über die nächste auszuführende Bewegung (ein Schaltzyklus des kognitiven Prozessors) und deren Planung und Ausführung (ein Schaltzyklus des Motorprozessors) formuliert.¹⁵¹

Mit dieser Herleitung erzeugen Card, Moran und Newell formal zwar *Fitts' Law*, positionieren es aber in einem neuen Kontext: Die

¹⁴⁸ Wie etwa der Anpassung an Shannons ursprüngliche Formulierung des Theorems 17. MacKenzie, »A Note on the Information-Theoretic Basis for Fitts' Law«.

¹⁴⁹ David E. Meyer u. a. »Speed-accuracy tradeoffs in aimed movements: Toward a theory of rapid voluntary action«. In: *Attention and performance XIII*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1990, S. 173–262.

¹⁵⁰ Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 27. An dieser Stelle sei auch kurz auf das *Hick-Hyman Law* verwiesen, das *Fitts' Law* formal ähnelt und ebenfalls einer Anwendung informationstheoretischer Überlegungen auf die Human Factors entstammt. Im Gegensatz zu *Fitts' Law* ist dem Gesetz aber keine nachhaltige Karriere in der Forschung zur Interaktion gegönnt, obwohl es sich als Operationsprinzip P7 ebenfalls im MHP wiederfindet. Vergleiche William E. Hick. »On the rate of gain of information«. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 4 (1952), S. 11–26, sowie Steven C. Seow. »Information Theoretic Models of HCI: A Comparison of the Hick-Hyman Law and Fitts' Law«. In: *Human-Computer Interaction* 20 (2005), S. 315–352, S. 330–342.

¹⁵¹ Zur Herleitung vergleiche Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 52–53.

Reformulierung eines Zusammenhangs, der aus einem informationstheoretischen Verständnis menschlicher Motorik geboren war, führt hier zu einem Gesetz im Denkstil rationalistischer Informationsverarbeitung im Zeichen digitalen Rechnens. Das „pointing“ auf ein Ziel ist nicht länger die (stochastische) Funktion eines verrauschten Kanals, sondern die (deterministische) iterative Ausführung diskreter Teilbewegungen.¹⁵² *Fitts' Law* und seine Rolle im MHP zeigt so, wie Methoden mit großer Nähe zur Regelungstechnik und Kybernetik problemlos in eine Psychologie der Interaktion integriert werden können, die einer funktionalistischen *philosopher's physics* folgt.

Der Mehrwert („in dollars“), den diese Reformulierung verspricht, besteht bis heute in in einem der wenigen *Gesetze*, die die Interaktionsforschung überhaupt kennt. Dieses Gesetz ist aber zugleich von bemerkenswerter Schlichtheit. Card und Moran verweisen als Beispiel für das tatsächliche Funktionieren des MHP auf die Abhängigkeit einer *pointing*-Bewegung von Zielentfernung und -größe, die durch *Fitts' Law* formuliert wird, und die sich auf eine einfache Faustregel reduzieren lässt: „The model provided guidance for interface designers: make distant buttons large, for example.“¹⁵³

Die magische Sieben

Ähnlich wie der Artikel der *Fitts' Law* formuliert, ist auch der Artikel, der Millers „Magical Number Seven“¹⁵⁴ im Titel trägt, eine der einflussreichsten Veröffentlichungen der modernen Experimentalpsychologie.¹⁵⁵ Bekannt ist der Artikel vor allem für die darin formulierte Hypothese, nach der das menschliche Kurzzeitgedächtnis in der Lage ist, sieben (plus oder minus zwei) Informationseinheiten zur weiteren Verarbeitung zu speichern.¹⁵⁶ Diese Grenze der Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses wird in der Folge ganz im Sinne digitaler Speichertechnologien der 1950er Jahre beschrieben: Das „standard model“ des Kurzzeitgedächtnisses¹⁵⁷ beschreibt es als Speicher nach dem Vorbild etwa der *Williams Tube*. Wie das Licht, das für kurze Zeit auf der Mattscheibe nachleuchtet und immer wieder ausgelesen und erneuert werden muss, ist das Kurzzeitgedächtnis hier in „loops“ begrenzter Kapazität organisiert, in denen die gespeicherten Inhalte gegen ihren „decay“ immer wieder aufgefrischt werden müssen. Ein Konzept, das sich direkt in der „decay time“ der *memories* des MHP wie-

152 Vergleiche hierzu Meyer u. a., »Speed-accuracy tradeoffs in aimed movements: Toward a theory of rapid voluntary action«, S. 192-193.

153 Card und Moran, »User Technology: From Pointing to Pondering«, S. 185.

154 Miller, »The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information«.

155 Walter Kintsch und John T. Cacioppo. »Introduction to the 100th anniversary issue of the Psychological Review«. In: *Psychological Review* 101.2 (1995), S. 195-199.

156 Jeanne Farrington. »From the Research: Myths Worth Dispelling – Seven Plus or Minus Two«. In: *Performance Improvement Quarterly* 23.4 (2011), S. 113-116.

157 Vergleiche hierzu James S. Nairne. »Remembering over the Short-Term: The Case Against the Standard Model«. In: *Annual Review of Psychology* 53 (2002), S. 53-81.

derfindet¹⁵⁸, während die Faustregel des 7 ± 2 hier auf Grund neuerer experimenteller Ergebnisse zu „2.5 ~ 4.1“ Informationseinheiten wird.¹⁵⁹

Aber die titelgebenden 7 ± 2 betreffen nicht nur die Gedächtnisleistung. Millers Artikel beschäftigt sich vielmehr mit zwei sehr unterschiedlichen Phänomenen: Der Fähigkeit Stimuli zu unterscheiden (womit er in der Tradition Exners „Experimentelle[r] Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse“ steht) und der Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses. Beiden scheint, so Miller, die Grenze der 7 ± 2 gemein zu sein.

Miller versucht daraufhin, beide Grenzen mit den Mitteln der mathematischen Informationstheorie zu beschreiben. Dabei sieht er zwar die magische Zahl sowohl in der „span of absolute judgement“ (der Wahrnehmung) als auch in der „span of immediate memory“ (des Kurzzeitgedächtnisses) am Werk, er kann aber keine gemeinsame Ursache für beide Grenzen ausmachen.¹⁶⁰ Schlimmer noch: die Fähigkeit Stimuli zu unterscheiden lässt sich als informationstheoretische Kanalkapazität der Wahrnehmung in Bit angeben, die Leistung des Kurzzeitgedächtnisses aber nicht. Denn scheinbar lassen sich 7 ± 2 einzelne Zahlen genau so gut merken, wie 7 ± 2 längere Gruppen von Zahlen: „Recoding“¹⁶¹, wie etwa das Zusammenfassen von Zahlen zu Zahlengruppen, von Buchstaben zu Silben oder von Silben zu Wörtern, erhöht die Informationsmenge im Kurzzeitgedächtnis, ohne etwas an den Grenzen seiner Kapazität zu ändern. Miller unterscheidet daher die Bits der Kanalkapazität der Wahrnehmung von den „chunks“ der Speicherkapazität des Gedächtnisses.¹⁶² Die Zusammenfassung beider unter dem Titel der „Magical Number Seven: Some Limits on Our Capacity for Processing Information“ bleibt so vor allem geschickte Rhetorik, fehlt ihnen doch ein nachweisbarer Zusammenhang, der über die Zahl Sieben hinausgeht.¹⁶³

Die nachhaltige Wirkung des Artikels in der entstehenden Kognitionswissenschaft speist sich aus eben dieser Spannung: Miller beginnt mit der Anwendung mathematischer Informationstheorie auf die Wahrnehmung und folgt damit einem zu seiner Zeit verbreiteten Ansatz, den wir (für die Motorik) ganz ähnlich bei Fitts beobachten können. Anschließend zeigt er, dass der Informationsbegriff für die Beschreibung der Grenzen der Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses dank *recoding* und *chunking* nicht länger ausreicht. Beide

158 Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 25.

159 Ebd., S. 26, 93.

160 Miller, »The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information«, S. 351.

161 Ebd., S. 359.

162 Ebd., S. 349.

163 Vergleiche hierzu die Reviews: Richard M. Shiffrin und Robert M. Nosofsky. »Seven plus or minus two: A commentary on capacity limitations«. In: *Psychological Review* 101.2 (1994), S. 357–361 und Alan Baddeley. »The magical number seven: Still magic after all these years?«. In: *Psychological Review* 101.2 (1994), S. 353–356.

Befunde verknüpft er trotz der fehlenden Gemeinsamkeiten schließlich über die Überschrift der magischen Sieben, womit er nicht nur den „best title in psychology“¹⁶⁴ schafft, sondern auch den Weg für eine Kognitionswissenschaft bereitet, die von Informationsverarbeitung spricht, sich aber vom Informationsbegriff der Kybernetik abwendet. Und so wird die regelungstechnische Kapazität eines Kanals zur „Capacity of Processing Information“ – der Fähigkeit zu rechnen. In diesem Sinne gilt: „Miller set the agenda for the next phase of cognitive psychology in which information-processing concepts went beyond the confines of information theory.“¹⁶⁵ Er vollzieht damit in einer Veröffentlichung eine Bewegung, die für *Fitts' Law* erst im Nachhinein durch Card, Moran und Newell vollzogen wurde.

Es sind die Grenzen der Informationstheorie (die bekanntlich seit Shannon Bedeutung explizit ausklammert), die Miller veranlassen zu glauben „mentalistic concepts would have to integrate and explain the behavioral data“¹⁶⁶. Er schreibt: „During those years I personally became frustrated in my attempts to apply Claude Shannon's theory of information to psychology.“¹⁶⁷ Die Arbeiten von Newell, Simon und Chomsky dagegen liefern ihm mit ihrem Fokus auf abstrakte Regeln die Vorlage für die kommende kognitive Psychologie.

Und so kommt es, dass nach einer kurzen Blütephase in der Psychologie der 1950er Jahre die mathematische Informationstheorie nur noch in Disziplinen wie Biologie, Physik, Statistik und den Ingenieurwissenschaften zu finden ist, sie in der Psychologie aber wieder verschwindet.¹⁶⁸ Der *Informationsbegriff* wird dagegen einer Metamorphose unterzogen, nach der Information nicht länger Information, sondern Rechnen ist: „Of course, the word information has been almost seamlessly transformed into the concept of »information-processing models« in which information theory per se plays no role.“¹⁶⁹

5.3.3 Cognitive Engineering

Dies ist nicht nur der Weg, den die Kognitionswissenschaft nehmen wird, auch die *trading zone* der Human-Computer Interaction wird von dieser Idee der Informationsverarbeitung eine Zeit lang dominiert. Es wundert daher nicht, dass für viele der „origin myth“ (oder *standard account*) der Geschichte der Disziplin im hier beschriebe-

164 Baddeley, »The magical number seven: Still magic after all these years?«, S. 353.

165 Ebd.

166 Miller, »The cognitive revolution: a historical perspective«, S. 142.

167 Ebd., S. 141.

168 R. Duncan Luce. »Whatever Happened to Information Theory in Psychology?« In: *Review of General Psychology* 7.2 (2003), S. 183–188, S. 183.

169 Ebd., S. 185.

nen Zusammentreffen von Informatik und Kognitionswissenschaft besteht¹⁷⁰.

Und so steht die Human-Computer Interaction bis heute immer wieder im Zeichen eines „Cognitive Engineering“, wie es Donald Norman 1986 einflussreich als „angewandte Kognitionswissenschaft“ entwirft:

*Cognitive engineering, a term invented to reflect an enterprise I find myself engaged in: neither Cognitive Psychology, nor Cognitive Science, nor Human Factors. It is a type of applied Cognitive Science, trying to apply what is known from science to the design and construction of machines.*¹⁷¹

Die unscharfe „black art“¹⁷², die die Gestaltung des Verhältnisses von Ober- und Unterfläche erforderlich macht, soll wissenschaftlich beherrschbar werden – womit sich fortsetzt, was in der *presentation group* des SAGE, bei Engelbart und dann vor allem im „Applied Information-processing Psychology Project“ begonnen wurde. Mit dem Ausformulieren seines Ansatzes liefert Norman ein mustergültiges Beispiel für den Transfer von Methoden und Erkenntnissen eines wissenschaftlichen Feldes in ein Anwendungsfeld. Zugleich bringt er allerdings die Konsequenzen einer angewandten Kognitionswissenschaft mit all ihren Problemen auf den Punkt.

Im Zentrum seines Ansatzes steht der Gegensatz von Physik und dem nicht-physischen Denken der *philosopher's physics* eines mentalistischen Kognitivismus. Interaktion ist demnach das ständige Vermitteln zwischen mentalen *goals* eines Nutzers und den physischen Zuständen des von ihm benutzten Systems.

Die Vermittlung vollzieht sich im ständigen Ausführen von Handlungen („execution“) und der Bewertung ihrer Ergebnisse („evaluation“). Dabei bilden Handeln und dessen Bewertung zwar einen Feedback-Loop, dieser wird aber vor allem in der Tradition des Kognitivismus formuliert. Im Anschluss an die Arbeit Newell und Simons skizziert Norman eine („unvollständige“) „Theory of Action“, nach der Handeln in sieben Stationen unterteilt werden kann:¹⁷³

- Establishing the Goal
- Forming the Intention
- Specifying the Action Sequence

¹⁷⁰ Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 61.

¹⁷¹ Donald A. Norman. »Cognitive Engineering«. In: *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hrsg. von Donald A. Norman und Stephen Draper. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1986, S. 31–61, S. 31.

¹⁷² Hellige, »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«, S. 16.

¹⁷³ Norman, »Cognitive Engineering«, 41, Großschreibung im Original.

- Executing the Action
- Perceiving the System State
- Interpreting the State
- Evaluating the System State with respect to the Goals and Intentions

„Intention“ und „Action Sequence“ sind dabei eindeutig im Sinne hierarchischen Problemlösens gemeint: Komplexe „Goals“ (z.B. „convey a message“ als Ziel hinter dem Schreiben eines Briefes) werden so lange in weniger komplexe „Intentions“ zerlegt¹⁷⁴, bis sie sich schließlich durch elementare Operationen, die zu einer „Action Sequence“ kombiniert sind, abarbeiten lassen. Nach Ablauf der Handlung wird der Systemzustand auf die anfänglichen Ziele hin überprüft und gegebenenfalls neue Intentionen und Handlungssequenzen generiert. Dieser Ablauf erinnert nicht zufällig an die Übertragung von *Fitts' Law* von einem informationstheoretischen Kontext in den der Informationsverarbeitung, bei der das Formulieren von Handlungsabläufen und die Überprüfung ihrer Folgen die *pointing*-Bewegung zur deterministischen Abfolge diskreter Teilbewegungen machte. Zwar sieht auch hier die Theorie das ständige Überprüfen aller Teilhandlungen im Sinne der vom Ziel abgeleiteten Intentionen vor, der Computerbenutzer im Sinne dieser Theorie ist aber eindeutig Vertreter der Spezies des informationsverarbeitenden Systems, als das der User von Anfang an gedacht worden ist. Und so wundert es nicht, dass die zentralen Instanzen der Vermittlung zwischen nicht-physischen Zielen und physischen Handlungen Modelle sind.

Als allgegenwärtige Eigenschaft des Menschen¹⁷⁵ sind mentale Modelle für Norman die internen Repräsentationen, auf denen regelgeleitet operiert wird, um die Ziele, Intentionen und schließlich Handlungssequenzen zu formulieren, die aus mentalen Zielen physische Zustände machen. Denn zwischen den psychologischen und physischen Variablen der Interaktion liegen die „gulfs of execution and evaluation“¹⁷⁶, die es zu überbrücken gilt. Das Modell, das ein User von dem System hat, mit dem er arbeitet und an dem er seine Ziele erreichen will, ist das „User's Model“. Aus ihm werden die Intentionen und Handlungssequenzen abgeleitet, die Grundlage der Interaktion sind. Es bildet so das Fundament, auf dem die Brücken über die Gräben der Ausführung und Bewertung von Handlung errichtet werden können. Und während sich dieses Modell auf natürliche Weise im Interagieren mit dem „System Image“ (also der Oberfläche) eines Systems bildet, besteht das eigentliche Ziel eines *Cognitive Engineering* im Formulieren eines „Design Model“, das, wenn es umgesetzt

¹⁷⁴ „Improve the appearance of the letter“, „Change the indented paragraphs to block paragraphs“ usw. Norman, »Cognitive Engineering«, S. 43.

¹⁷⁵ Ebd., S. 46.

¹⁷⁶ Ebd., S. 38-41.

wird, ein „System Image“ zur Folge hat, das der User so verstehen wird, wie er soll¹⁷⁷.

Die entscheidenden Faktoren, die ein *Cognitive Engineering* zu bestimmen helfen soll, sind daher einerseits die Abbildung von Zielen auf die Eingabemöglichkeiten einer Schnittstelle und andererseits von ihren Ausgaben auf deren Bewertung im Sinne dieser Ziele.¹⁷⁸ Wie bei Nike steht hier also das Zusammenspiel von Interpretation und Determination, das Folge algorithmischer Zeichen ist, im Zentrum des Problems der Gestaltung von Schnittstellen. Norman hofft aber, mit Hilfe der Kognitionswissenschaft die menschliche Seite der Computerbedienung so weit verstehen zu können, dass sich deren maschinelles Gegenüber in ihrem Sinne optimieren lässt. Denn die Kluft zwischen System und Benutzer lässt sich von zwei Seiten aus überbrücken: Durch eine Anpassung der Nutzer an das System, oder eine Anpassung des Systems an seine Nutzer.¹⁷⁹ Und während der trainierte Mensch bei Engelbart eindeutig eine Anpassung an das System voraussetzt, setzt Norman auf das Gegenteil dessen. Damit setzt er aber implizit genau die Innovationen in der Künstlichen Intelligenz voraus, auf die Engelbart nicht warten wollte – oder gegen die er sogar „philosophically opposed“¹⁸⁰ gewesen sein mag. Denn die Anpassung des Systems an seine Nutzer setzt letztlich voraus, dass die Ziele der betreffenden Nutzer so verstanden werden können, dass die Schnittstelle des Systems optimal gestaltet werden kann. Dieses wissenschaftliche „User-Centered Design“¹⁸¹ kreist damit um einen User, der einerseits über als mental und damit nicht-physisch gedachte Ziele und Modelle verfügt, der sich aber nach dem technischen Verständnis des Denkens im Zentrum der Kognitionswissenschaften verstehen lassen muss, wenn sein Handeln im Sinne eines rationalen Problemlösens formulierbar sein soll, um von einer daraufhin optimierten Schnittstelle unterstützt werden zu können.

Die Kluft, die bei Norman zwischen Ziel und Handlung liegt, ruft hier daher nicht zufällig den „mind-body gap“ oder das Leib-Seele-Problem der Philosophie des Geistes auf. Norman expliziert, vielleicht ohne es zu merken, die Probleme eines Modell-orientierten Kognitivismus, die hier bereits mit Dupuy diskutiert wurden und zu denen spätestens seit Descartes berühmter Zirbeldrüse gehört, dass ein nicht-phisches Mentales in der physischen Welt wirksam werden muss.¹⁸² Das Denken des Users wird zugleich als nicht-physisch definiert, wie als rechnerisch (und damit physisch) reformulierbar vorausgesetzt. Denn „move the system closer to the user“¹⁸³ bedeu-

177 Ebd., S. 47.

178 Ebd., S. 52-53.

179 Ebd., S. 42.

180 Redaktion Ubiquity, »An Interview with John Markoff: What the dormouse said«.

181 Norman, »Cognitive Engineering«, S. 59.

182 Beckermann, *Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes*, S. 29-37, 50.

183 Norman, »Cognitive Engineering«, S. 43.

tet hier nichts anderes als eine prinzipielle Modellierbarkeit der Ziele und Intentionen eines Nutzers durch den Rechner.

Mit der Forderung nach einem „User-Centered Design“ in diesem Sinne vollzieht Norman darüber hinaus eine Verschiebung, die in der Human-Computer Interaction insgesamt sehr wichtig werden wird: Der Stellenwert, den Training noch im H-LAM/T hatte, und der wie gesehen für das Durchsetzen der Maus, wie auch das Scheitern des NLS entscheidend war, wird hier zugunsten einer Nutzerorientierung aufgegeben, die diesen Nutzer und seine Handlungen immer schon als „natürlich“ voraussetzt.

Die konkreten Beispiele für eine erfolgreiche Anwendung der Kognitionswissenschaft auf die Gestaltung von Schnittstellen sind dabei seit dem AIP die selben geblieben: Auch bei Norman stehen hinter den „processing resources“ und „short-term memory limits“ der Benutzer Millers magische Sieben und *Fitts' Law*.¹⁸⁴ Und so scheint man sich zumindest in Teilen der *trading zone* der Human-Computer Interaction eine Zeit lang einig: die „Psychology of Human-Computer Interaction“ ist die kognitive Psychologie.

5.4 CONCRETE THINKING

5.4.1 *Direct Manipulation*

Das Verhältnis der psychologischen Variablen auf Seiten des Users und der physischen Variablen auf Seiten des Systems bezeichnet Norman als „directness“¹⁸⁵. Er übernimmt diesen Begriff von Ben Shneiderman, der 1983 mit „Direct Manipulation“¹⁸⁶ einem Phänomen einen Namen gibt, das sich zu dieser Zeit in der gesamten Informatik bemerkbar macht: „Certain interactive systems generate glowing enthusiasm among users“¹⁸⁷. Diesen Systemen gemein ist eine Bedienform, die auf das Manipulieren symbolischer Darstellungen ohne Eingabe von Texten setzt – eine Bedienform, die historisch zwar mit der Light-Gun von *Whirlwind* am Anfang interaktiven Rechnens steht, die in den Genealogien der Interaktivität aber, wie gesehen, auf *Batch-Processing* und Kommandozeile folgt und erst während der 1980er Jahre als „[o]ne of the most significant developments [...] in human-computer interaction“¹⁸⁸ erkannt wird. Nachdem Shneiderman eine Reihe von Beispielen für derart begeisternde Systeme, von der Tabellenkalkulation *VisiCalc*

¹⁸⁴ Norman, »Cognitive Engineering«, S. 47.

¹⁸⁵ Ebd., S. 52.

¹⁸⁶ Ben Shneiderman. »Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages«. In: *The New Media Reader*. Hrsg. von Noah Wardrip-Fruin und Nick Montfort. New York, NY und London: W. W. Norton & Company, 2001 [1983], S. 486–498.

¹⁸⁷ Ebd., S. 486.

¹⁸⁸ David M. Frohlich. »The history and future of direct manipulation«. In: *Behaviour & Information Technology* 12.6 (1993), S. 315–329, S. 315.

bis zum Computerspiel *Pong*, aufgezählt hat, verdichtet er deren Eigenschaften zu einem einflussreichen „integrated portrait of direct manipulation“. Es umfasst:¹⁸⁹

- Continuous representation of the object of interest.
- Physical actions or labeled button press instead of complex syntax.
- Rapid, incremental, reversible operations whose impact on the object of interest is immediately visible.
- Layered or spiral approach to learning that permits usage with minimal knowledge [...]

VisiCalc, zum Beispiel, macht als erste Tabellenkalkulation der Informatikgeschichte¹⁹⁰ die Änderungen, die sich durch die Eingabe eines Wertes in einer Tabellenzelle ergeben, sofort in allen davon abhängigen Zellen bemerkbar, was einen direkten Umgang mit den verwalteten Daten ermöglicht. Und *Pong* gehört als Computerspiel nach Shneiderman zu den beeindruckendsten Beispielen für direkte Manipulation überhaupt: „Perhaps the most exciting, well engineered – certainly the most successful – application of direct manipulation is in the world of video games.“¹⁹¹ Denn hier wird der virtuelle Schläger des abstrakten Tischtennispiels über das einfache Drehen an einem Rädchen gesteuert – eine „physical action“, die keine Syntax voraussetzt. Beide Beispiele sind darüber hinaus, so zumindest die Argumentation Shneidermans, nach physischen und damit natürlichen Vorbildern modelliert: *VisiCalc* nach der Tabelle des Buchhalters und Computerspiele grundsätzlich nach realen Phänomenen¹⁹².

Dass die aufgeführten Schnittstellen Begeisterung auslösen, hängt nach Shneiderman von den im Portrait genannten Faktoren ab. Warum sie das tun, erklärt er kognitivistisch. Da Bildschirmarbeit nach diesem Paradigma hierarchisch organisiertes Problemlösen ist, existieren die Probleme (oder Ziele) eines Nutzers in einer „problem domain“¹⁹³. Die Inhalte dieser Problemsphäre sind „semantisch“. Sie werden von Nutzern Stück für Stück in Komponenten zerlegt, die sich sukzessive an die „syntaktisch“ organisierte „program domain“ der eigentlichen Interaktion annähern. Aus dem Schreiben eines Textes wird das Löschen von Zeilen, das Verschieben von Absätzen

189 Shneiderman, »Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages«, S. 493-494.

190 Tabellenkalkulation ist im Übrigen genau die Anwendungsform, die sich als Killer-App für das Personal Computing entpuppen wird. Vergleiche Lunenfeld, *Snap to Grid: A User's Guide to Digital Arts, Media, and Cultures*, S. 80.

191 Shneiderman, »Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages«, S. 488.

192 Wie eben dem Tischtennispiel. Vergleiche zu diesen und anderen Beispielen ebd., S. 486-491.

193 Vergleiche hierzu ebd., S. 494-495.

und schließlich das Drücken von Tasten. Das Problemlösen wird so, wieder einmal, zur Formulierung von Sequenzen elementarer Operationen, wobei der Übergang von semantischen Problemen zu syntaktischen Handlungen die dreifache Reduktion nachbildet, die nach Nike Phänomene zu Signalen macht. Im Lichte dieser Trennung von Syntax und Semantik wird Direct Manipulation, so Shneiderman, verstehbar als Prozess, bei dem direkt auf die Problemsphäre eingewirkt werden kann. Darstellungen und Handlungen beziehen sich nicht auf einzelne Tasten oder schriftliche Kommandos, sondern auf Objekte einer Problemwelt. Ganz im Sinne eines „move the system closer to the user“¹⁹⁴ würde der Abstand zwischen Syntax und Semantik minimiert und der Widerspruch von Zeichen- und Signalaspekt des algorithmischen Zeichens würde aufgehoben.

Aufbauend auf diese Arbeit liefert Norman, zusammen mit Edwin Hutchins und James Hollan, einen einflussreichen und weit detaillierteren „cognitive account“¹⁹⁵ des Phänomens. Dazu bedienen sie sich Shneidermans Portrait, differenzieren dessen Erklärungsansatz aber vor dem Hintergrund des Problems psychophysischer Verursachung im Sinne Normans weiter aus. Im Kern der Erklärung steht so die Idee einer „information processing distance“ zwischen den Intentionen des Nutzers und den Zuständen der Maschine¹⁹⁶. Darauf baut die Vermutung auf, dass eine geringere Distanz zwischen beiden Welten weniger Informationsverarbeitung erforderlich machen und damit weniger „cognitive resources“ verbrauchen würde¹⁹⁷.

Die Direktheit von Direct Manipulation unterteilen die Autoren allerdings zunächst in eine rein kognitive und eine qualitative Komponente¹⁹⁸: Während „distance“ eben die kognitive Distanz zwischen Nutzer und System bezeichnet, steht „engagement“ für das Erleben unmittelbarer Wirksamkeit.

Anders als *distance* lässt sich *engagement* aber schwer in einen „cognitive account“ integrieren: Als „feeling of involvement“¹⁹⁹ ist es im Kern phänomenal und für einen Ansatz in der Tradition der Informationsverarbeitung nur schwer zugänglich: „Although we believe this feeling of direct engagement to be of critical importance, in fact, we know little about the actual requirements for producing it.“²⁰⁰ Die Diskussion des Phänomens fällt dementsprechend deutlich kürzer aus als die Diskussion kognitiver Distanz. Sie basiert auch nicht auf Normans angewandter Kognitionswissenschaft, sondern auf dem Begriff der „first-personness“, den Brenda Laurel zur gleichen Zeit

194 Norman, »Cognitive Engineering«, S. 43.

195 Edwin L. Hutchins, James D. Hollan und Donald A. Norman. »Direct Manipulation Interfaces«. In: *Human-Computer Interaction* 1 (1985), S. 311–338, S. 316.

196 Ebd., S. 311. Vergleiche auch Frohlich, »The history and future of direct manipulation«, S. 316.

197 Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 317.

198 Frohlich, »The history and future of direct manipulation«, S. 322.

199 Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 332.

200 Ebd., S. 332–333.

für die Human-Computer Interaction prägt²⁰¹. Laurels Ansatz basiert, anders als kognitivistische Ansätze, auf der Poetik Aristoteles' und beschreibt Interaktion als „enactment“²⁰². Schnittstellen eröffnen demnach einen mimetischen Kontext²⁰³, in dem ein User durch einen Akt der „suspension of disbelief“²⁰⁴ sich der Illusion (oder Immersion) hingibt, aus einer Perspektive der „first-personness“ direkt mit den Entitäten zu handeln, die hier symbolisch repräsentiert werden. Interaktion wird so, viel mehr als etwa bei Norman, zu einem Zusammenspiel und es gilt „[a]n interface [...] is literally co-created by its human user every time it is used.“²⁰⁵

Die Idee des „enacting“ des Interface wird hier in anderer Form noch eine wichtige Rolle spielen. Norman, Hutchins und Hollan belassen es aber bei dem Verweis auf die Arbeit Laurels und die „mimetic and metaphorical nature of interfaces“²⁰⁶, um dann mit dem Begriff der Metapher zu arbeiten, der hier als Selbstverständlichkeit mit den Worten „There are two major metaphors for the nature of human-computer interaction [...]“²⁰⁷ eingeführt wird. Die beiden wichtigsten Metaphern, die hier gemeint sind, sind aus den Genealogien der Interaktion bekannt: Es ist zum einen die Unterhaltung der Ära des *Time Sharing* und zum anderen die Metapher einer Modellwelt der grafischen Interaktion. Durch das Anbieten einer Welt, auf die eingewirkt werden kann, so das Argument, wird die Illusion erzeugt, man würde direkt mit den „objects of interest“ und nicht mit einer Repräsentation interagieren.²⁰⁸ Normans „User's Model“ und „System Image“ würden so in der Direct Manipulation zusammenfallen und auch die „first-personness“ würde als Folge minimierter kognitiver Distanz lesbar – ein Argument, das das die Rede vom direkten Interagieren auf semantischer Ebene bei Shneiderman repliziert.

Am Anfang ihrer Diskussion von Direct Manipulation steht die Feststellung: „We see promise in the notion of direct manipulation, but as of yet we see no explanation of it.“²⁰⁹ Im Anschluss daran liefern die Autoren zwar die oben umrissene Erklärung, am Ende ihrer Diskussion scheint der Satz aber noch immer gültig zu sein.

Denn entgegen aller Begeisterung, die Direct Manipulation auszulösen in der Lage ist, scheint bei den Autoren ein grundsätzliches Unbehagen mit der Direktheit von Interaktion bestehen zu bleiben. Die

201 Ebd., S. 318. Vergleiche hierzu Brenda K. Laurel. »Interface as mimesis«. In: *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hrsg. von Donald A. Norman und Stephen Draper. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1986, S. 67–85.

202 Ebd., S. 71. Zum weiteren Ausbau dieses Ansatzes vergleiche auch Brenda K. Laurel. *Computers as Theatre*. Redding, MA: Addison-Wesley, 1993.

203 Laurel, »Interface as mimesis«, S. 71.

204 Ebd.

205 Ebd., S. 73.

206 Frohlich, »The history and future of direct manipulation«, S. 316.

207 Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 317.

208 Vergleiche hierzu ebd., S. 333–336.

209 Ebd., S. 316.

rationalistische Tradition, die die symbolische Maschine genauso hervorgebracht hat, wie das Paradigma der Informationsverarbeitung, bringt nun, so scheint es ihnen, etwas hervor, das dieser Tradition der Abstraktion und der Formalismen widerspricht. Sie schließen ihre Diskussion mit den Worten:

On the surface, the fundamental idea of a direct manipulation interface to a task flies in the face of two thousand years of development of abstract formalisms as a means of understanding and controlling the world. Until very recently, the use of computers has been an activity squarely in that tradition. So the exterior of direct manipulation, providing as it does for the direct control of a specific task world, seems somehow atavistic, a return to concrete thinking. On the inside, of course, the implementation of direct manipulation systems is yet another step in that long, formal tradition. The illusion of the absolutely manipulable concrete world is made possible by the technology of abstraction.²¹⁰

5.4.2 *Tangible User Interfaces*

Die Interaktionsforschung wird sich in der Folge in Teilen noch stärker auf das atavistische *concrete thinking* konzentrieren. Wieder am PARC schlägt Marc Weiser gegen Ende der 1980er Jahre einen Begriff vor, den er 1991 unter der Überschrift „The Computer for the 21st Century“ publiziert: „ubiquitous computing“²¹¹. Der Begriff verleiht der Forderung Ausdruck, der Computer solle den Schreibtisch verlassen und in der Alltagswelt und den Gegenständen darin verschwinden. Im Sinne dieser Forderung forscht das PARC anschließend zu rechnenden Post-Its und Namensschildern, „intelligentem“ Papier und Projektionswänden – „Computation by the Inch, Foot, and Yard“²¹². Vor allem der Fokus auf kleine, physische Gegenstände, die nicht nur rechnen können, sondern deren physikalischer Gebrauch in dieses Rechnen einfließt, wird sich am PARC und anderen Forschungsorten in der Folge zu einem eigenständigen Forschungsprogramm auswachsen, das am *Media Lab* des MIT schließlich erst das Adjektiv „graspable“²¹³ und dann „tangible“²¹⁴ bekommen wird. Die „Tangible Media Group“ prägt hier mit Interfaceentwicklungen,

²¹⁰ Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 337.

²¹¹ Mark Weiser. »The Computer for the 21st Century«. In: *Scientific American* 265.3 (1991), S. 94–104.

²¹² Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 30.

²¹³ George W. Fitzmaurice, Hiroshi Ishii und William Buxton. »Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces«. In: *Proceedings of CHI*. 1995, S. 442–449.

²¹⁴ Zu dieser Forschung am MIT vergleiche zum Beispiel Hiroshi Ishii und Brygg Ullmer. »Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms«. In: *Proceedings of CHI*. 1997, S. 234–241 oder Brygg Ullmer, Hiroshi Ishii und Dylan

die physische Gegenstände mit Rechenprozessen *anders* kombinieren, als es beispielsweise mit der Maus ohnehin geschieht, ein Feld, das in Abgrenzung zum Feld der „Graphical User Interfaces“ (GUI) vor allem als „Tangible User Interfaces“ (TUI) bezeichnet wird.²¹⁵

Die Leistung dieser Forschung besteht zunächst vor allem darin, die physische Seite der Repräsentation algorithmischer Zeichen von der seit den Kathodenstrahlröhren *Whirlwinds* dominierenden Lichterscheinungen zu lösen und damit der Konkretion algorithmischer Prozesse neue Möglichkeitsdimensionen hinzuzufügen. So sind die „phicons“ der „Tangible Media Group“ als „physical icons“²¹⁶ physikalische Gegenstände, die für einen Datensatz stehen und deren physikalische Manipulation zur Manipulation dieses Datensatzes genutzt werden kann. Die Forschung bleibt dabei aber zumindest zu Beginn trotz eines dezidiert revolutionären Anspruchs den Konventionen der Interfaceentwicklung treu, da hier lediglich die Repräsentation von Daten und Kontrollfluss physisch Form bekommt – deren Manipulierbarkeit zur Laufzeit, wie gesehen, ohnehin die Grundbedingung von Interaktivität selbst darstellt. Die „fusion of physical and digital worlds“²¹⁷ ist so – bei aller Wichtigkeit, die eine Interaktionsforschung „beyond the desktop“ im Angesicht der jahrzehntelangen Dominanz von *Windows*, *Icons*, *Menus* und *Pointing devices* besitzt – vor allem eine Fortsetzung der Idee der Direct Manipulation. So scheint „tangible interaction“ in erster Linie wie eine verspätete Erfüllung des Ideals direkter Interaktion. Ebenfalls vom PARC stammt daher die Formulierung „interfaces for *really* direct manipulation“²¹⁸.

Da greifbare Schnittstellen die Daten und Operationen des Rechnens über deren physische Repräsentation für ein Alltagswissen über die physische Welt zugänglich machen, das uns von vornherein gegeben ist, scheinen sie ideale Kandidaten für eine Minimierung der kognitiven Distanz zwischen Problem- und Handlungswelt. Und da ihre Modellwelten ganz real und ununterscheidbar von unserer Umgebung repräsentiert werden, stellt sich bei ihnen, so scheint es zumindest, die Frage nach dem *engagement* erst gar nicht – denn welche bessere Metapher für eine Modellwelt sollte es geben, als die reale? Für die meisten Protagonisten des Feldes nehmen daher Metaphern

Glas. »mediaBlocks: Physical Containers, Transports, and Controls for Online Media«. In: *Proceedings of SIGGRAPH*. 1998, S. 379–386.

215 Eine detaillierte Geschichte der Anfänge dieses Feldes liefert Dourish, *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. S. 25–53. Einen aktuelleren Überblick liefert Eva Hornecker. »Die Rückkehr des Sensorischen: Tangible Interfaces und Tangible Interaction«. In: *Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung*. Hrsg. von Hans Dieter Hellige. Bielefeld: transcript, 2008, S. 235–256.

216 Ullmer, Ishii und Glas, »mediaBlocks: Physical Containers, Transports, and Controls for Online Media«, S. 379.

217 Brygg Ullmer und Hiroshi Ishii. »Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces«. In: *Human-Computer Interaction in the New Millenium*. Hrsg. von John M. Carroll. Redding, MA: Addison-Wesley, 2001, S. 579–601.

218 Kenneth P. Fishkin u. a. »Embodied user interfaces for really direct manipulation«. In: *Communications of the ACM* 43.9 (2000), S. 74–80, Hervorhebung im Original.

und Repräsentationen eine zentrale Rolle in der Arbeit mit TUIs ein. Tangible User Interfaces erscheinen damit, so ein Vorwurf aus der *black art* Produktdesign, oftmals als ein „GUI thinking in disguise“, das mit dem Versuch, ungreifbaren Daten physisch Gestalt zu verleihen, der Idee verpflichtet bleibt, technische und kognitive Repräsentationen wären verlustfrei ineinander übersetzbar.²¹⁹ Damit wird das Programm fortgesetzt, nach dem die Wahl „richtiger“ Metaphern für das „System Image“ eine optimale Übersetzbarkeit gewährleisten könnte, während „Tangible User Interaction“ das Feld wird, dessen Metaphern eben „natürlich“ weil „realweltlich“ erscheinen: „we propose the notion of *Reality-Based Interaction* (RBI) as a unifying concept that ties together a large subset of these emerging interaction styles.“²²⁰

Insgesamt ist die Idee „natürlicher“ Interaktion, die sich auf die ohnehin vorhandenen motorischen und kommunikativen Fähigkeiten des Menschen stützt, spätestens seit der Symbiose Lickliders Teil des Informatikdiskurses – „trotz permanenten Scheiterns“²²¹. Nach einem Überblick über die Bemühungen, die „Vermenschlichung“ (im Sinne eines „move the system closer to the user“) und „Verbergung“ (im Sinne eines Verschwindens in der Realwelt) des Rechnens zu realisieren hält Hellige daher fest:

Die gewaltigen Probleme der Informatik bei der Bewältigung des intendierten Paradigmenwechsels lassen die Frage aufkommen, ob *Vermenschlichung* und *Verbergung* der Intermedien und Interfaces wirklich die geeigneten Wege zur Lösung des derzeitigen Komplexitätsproblems der MCI sind oder ob hier nicht unerfüllbare Versprechungen gemacht werden.²²²

Auch innerhalb der Diskussion zu begreifbarer Interaktion werden die Ideale der Natürlichkeit und Verbergung mittlerweile kritisch hinterfragt.²²³

Dass die Idee einer alle Probleme lösenden „Natürlichkeit“ problematisch ist, macht bereits die Tatsache deutlich, dass eben die Schnittstellen an Hand derer Shneiderman den Begriff der Direct Manipulation entwickelt – also Menüs, Maus oder die Drehregler eines Computerspiels wie *Pong* – keine zwanzig Jahre später nicht mehr natürlich

219 Vergleiche hierzu Tom Djajadiningrat u. a. »Tangible products: redressing the balance between appearance and action«. In: *Personal and Ubiquitous Computing* 8.5 (2004), S. 294–309.

220 Robert J. K. Jacob u. a. »Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces«. In: *Proceedings of CHI*. 2008, S. 201–210, S. 201.

221 Hellige, »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«, S. 55.

222 Ebd., S. 74.

223 Eva Hornecker. »Beyond affordance: tangibles' hybrid nature«. In: *TEI '12, Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*. ACM. New York, NY, 2012, S. 175–182.

und direkt genug erscheinen, um diesen Namen noch zu verdienen, weshalb sie in der revolutionären TUI-Bewegung überwunden werden müssen. Die Natürlichkeit „natürlicher“ Interaktion zeigt sich damit als zeit- und kontextabhängige Konvention, die immer als Produkt einer Naturalisierung zu verstehen ist.

Was TUIs aber klarmachen, ist, dass die physische Realität von Schnittstellen, und damit das, was nach der Konkretion abstrakter Rechenprozesse wahrnehmbar ist, für das Begreifen von Daten und den Zugriff auf die Signalseite des Algorithmischen Zeichens von großer Bedeutung ist. Dies gilt konsequenterweise auch für Schnittstellen, die zu einem gegebenen Zeitpunkt *nicht* als direkt bezeichnet werden. Die Bedeutung, die diese physische Realität besitzt, lässt sich aber gerade nicht in einem Verweis auf ihre metaphorische Wirkung ausreichend erklären, sondern muss um das erweitert werden, was beim (Be-)Greifen vor sich geht. Wieder die Produktdesigner:

From an industrial design point of view, the physical aspect is not so interesting in itself, since product design has always been about designing the physical. Rather than viewing tangible interaction as physically represented or manipulated data-flow, what we value in physical objects is the richness with which they address human perceptual-motor skills. In this approach, differentiation in appearance and differentiation in actions is highly important. The differentiation provides the »hooks« for our perceptual-motor system to get a grip on a system's functionality and to guide the user in his actions.²²⁴

Diese Erkenntnis scheint sich implizit im gesamten Diskurs um die greifbaren Schnittstellen zu finden. Auch Versuche einer theoretischen Fassung des Feldes, die dem Pfad von Shneiderman sowie Hutchins, Hollan und Norman folgen, kommen so mitunter zu unerwartet „atavistischen“ Ergebnissen. So schlägt etwa Kenneth Fishkin eine Taxonomie greifbarer Schnittstellen entlang der Begriffe „embodiment“ und „metaphor“ vor²²⁵. Anders als die Rolle, die „embodiment“ in der *trading zone* der Interaktionsforschung sonst bisweilen spielt, sind die Begriffe hier zunächst in direkter Tradition von *distance* und *engagement* zu lesen. Insbesondere *metaphor* bleibt dabei der klassisch kognitivistischen Auseinandersetzung mit Interaktion und der Diskussion von *engagement* als Produkt des Einsatzes von Metaphern verpflichtet – wobei auch hier gute Metaphern solche sind, die eine reale Welt imitieren.²²⁶ Allerdings bedeutet *embodiment* in diesem Fall weit weniger als die psychophysische Distanz kognitiver In-

224 Djajadiningrat u. a., »Tangible products: redressing the balance between appearance and action«.

225 Kenneth P. Fishkin. »A taxonomy for and analysis of tangible interfaces«. In: *Personal and Ubiquitous Computing* 8 (2004), S. 347–358, S. 348–349.

226 Ebd., S. 349.

teraktionsforschung – sondern die schlichte Verkörperung von Daten- und Kontrollstrukturen durch einen physischen Gegenstand. Verkörperung läuft so auf die einfache raum-zeitliche Distanz von In- und Output hinaus, denn sie ist:²²⁷

- *Full* In the limit case, the output device *is* the input device: the state of the device is fully embodied in the device. [...]
- *Nearby* In this case, the output takes place *near* the input object, typically, directly proximate to it. [...]
- *Environmental* In this case, the output is „around“ the user [...]
- *Distant* In this case, the output is „over there,“ on another screen, or even another room.

Dieser Rückzug von kognitiver auf raum-zeitliche Distanz – und damit von einer *philosopher's physics* in die Physik – deutet an, welche Erkenntnis greifbare Schnittstellen für die Informatik nahelegen. Michel Beaudouin-Lafon zieht hier bereits im Jahr 2000 die Konsequenz weg von der psychophysischen Interaktion der kognitionswissenschaftlichen Interaktionsforschung und hin zur sensomotorischen Kopplung von Mensch und Computer (die wir, streng genommen, auch schon bei Engelbart beobachten können). Als Modell für die Interaktion jenseits des WIMP-Paradigmas schlägt er „instrumental interaction“²²⁸ vor – ein Modell, das ganz in der Tradition skandinavischer Interaktionsforschung und wie in Anlehnung an Nakes Begriff des „instrumentellen Mediums“²²⁹ auf die instrumentelle Benutzung von Schnittstellen hinweist, die immer in einem Kontext situiert sind. Schnittstellen werden hier als mediale Instanzen konzeptioniert, auf die instrumentell eingewirkt werden kann.

Ihre zentralen Eigenschaften bezeichnet Beaudouin-Lafon als „indirection“, „integration“ und „compatibility“²³⁰. Indirektheit bezeichnet dabei ein zweidimensionales Feld, das vom räumlichen und zeitlichen „offset“ zwischen menschlicher Handlung und errechneter Reaktion bestimmt wird. Integration bezieht sich auf das Verhältnis der Freiheitsgrade von Handlungsmöglichkeiten und diesen Reaktionen. Kompatibilität schließlich steht für die Ähnlichkeit zwischen beiden – wohlgemerkt *nicht* die Ähnlichkeit zwischen mentalem Modell und „program domain“²³¹, sondern „between the physical actions of the

227 Fishkin, »A taxonomy for and analysis of tangible interfaces«, S. 349.

228 Michel Beaudouin-Lafon. »Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces«. In: *Proceedings of CHI*. 2000, S. 446–453.

229 Nake, »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«, S. 182.

230 Vergleiche Beaudouin-Lafon, »Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces«, S. 449–450.

231 Shneiderman, »Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages«, S. 494–495.

users on the instrument and the response of the object.”²³² Beaudouin-Lafon kommt also ohne Verweis auf abstrakte Probleme, Ziele und Objekte aus und beschränkt seinen „design space“ instrumenteller Interaktion auf das, was konkret vor sich geht: raum-zeitliche Eigenschaften des Zusammenhangs von menschlicher Handlung und errechneter Reaktion.

Die Frage nach dem Einfluss des Interagierens auf die Konstitution der Schnittstellen, mit denen interagiert wird, erweist sich so als eine Frage nach der sensomotorischen Kopplung von Mensch und Rechner und ihrem Zusammenhang mit der Konkretion von Zeichen an Oberflächen. In der direkten Manipulation stellen wir, so Nake, „eine neue sensumotorische Einheit von Auge und Hand her“²³³ – eine Einheit, die sich in der Interaktion erst ausdifferenziert. Es ist dieses Funktionieren von Schnittstellen als wechselseitiges Differenzieren von *appearance* und *action*, das vielleicht schon immer im Zentrum des Interagierens steht, und das in der Folge genauer betrachtet werden soll. Auch um zu klären, wie denn jetzt genau die Direktheit von etwa *Pong* zustande kommt und – mit anderen Worten – wie „Reality-Based Interaction“ realisiert und natürliche Schnittstellen naturalisiert werden.

232 Beaudouin-Lafon, »Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces«, S. 450.

233 Nake, »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«, S. 175.

Teil IV

WELT?

COMPUTER SPIELEN

1968 zeigt VALIE EXPORT erstmals ihre Installation „ping pong“, während Ralph Baer ein Computerspiel zum Patent einreicht, das später als „Pong“ Berühmtheit erlangen wird. Beide Projekte erscheinen als Wiederholungen des Experiments, mit dessen Hilfe Wiener und Bigelow versucht hatten, die irreguläre Bewegung eines ausweichenden Flugzeugs zu simulieren. Zugleich spannen sie ein diskursives Feld auf, in dem in der Folge Computerspiele und interaktive Medienkunst wiederholt als Orte der Konditionierung durch Reiz und Reaktion und als illusionistisch kritisiert werden. Ersterer Vorwurf erweist sich im Kontext der hier rekonstruierten Vorgeschichte der Interaktion als Folge der zirkulären Verschaltung von Mensch und Feedbackmaschine. Er reagiert auf die Tatsache, dass Feedback die Idee der „agency“ problematisiert, interpretiert zirkuläre Kausalität aber als einseitige Dominanz. Der Vorwurf des Illusionismus folgt andererseits aus der Tatsache, dass es sich bei den Darstellungen, die als Reize in der konditionierenden Interaktion durch eine Feedbackmaschine Reaktionen hervorrufen, zwangsläufig um symbolische Darstellungen handelt. Und während die Kritik konditionierender Interaktion diese Darstellungen als Reize, auf die reagiert wird, einfach voraussetzt, zeigt sich in einem künstlerischen Experiment, dass diese Darstellungen vielleicht nur deshalb als solche existieren, weil auf sie reagiert wird.

6.1 INTERAKTIVER BEHAVIORISMUS

6.1.1 ping pong

Mehr als 25 Jahre und eine mediengeschichtliche Ewigkeit nach Wieners und Bigelows Arbeit am *Anti-Aircraft Predictor* tritt die Künstlerin VALIE EXPORT 1968 deren Erbe an. Vermutlich ohne etwas davon zu ahnen, wiederholt sie das Experiment, mit dem im Winter des Jahres 1941 eine Versuchsperson, farbige Lichtpunkte an der Wand eines Labors am MIT und eine Handkurbel an einem komplizierten Mechanismus Testdaten für den *Anti-Aircraft Predictor* generieren sollten.¹ Bei EXPORT allerdings wird die Kurbel zum Tischtennisschläger, einer der Lichtpunkte zum Tischtennisball und die Labor- zur Leinwand. EXPORT zeigt einen Film, auf dem ein Lichtpunkt zu se-

¹ Zum Folgenden vergleiche auch Scherffig, »(ping) pong. Feedback Machines between Computation and Control«, sowie Scherffig, »Feedback: Vom Unding zur Sache«.

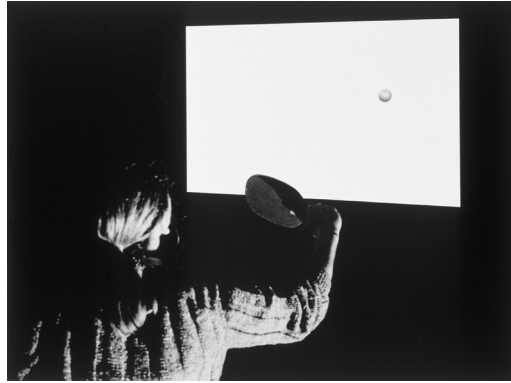


Abbildung 22: VALIE EXPORT: ping pong (Foto VALIE EXPORT/Charim Galerie, Wien).

hen ist, den es mit Tischtennisschläger und Ball zu treffen gilt (Abbildung 22). Die Arbeit trägt den Titel „ping pong“².

Was technisch ein Film ist, wird hier in einer Art und Weise genutzt, die die sich parallel entwickelnde Interaktivität der Informatik widerspiegelt – und die in ihrer offensichtlichen Ähnlichkeit zu Wieners Experiment wieder einmal deren kybernetisches Erbe deutlich macht. Als Teil einer Medienkunstgeschichte steht die Arbeit so am Übergang zwischen „alten“ und „neuen“ Medien. Sie ist „ein spiel-film. ein film zum spielen“³ und nimmt die Struktur einer interaktiven Medienkunst der 1990er Jahre vorweg, in der es gewissermaßen immer wieder darum gehen wird, Bälle auf Lichtpunkte zu lenken.

Für EXPORT ist *ping pong* aber vor allem ein „politischer Film“, als welcher die Arbeit noch im gleichen Jahr prämiert wird. Sie versteht ihn als Kritik an den Machtverhältnissen, die im Dispositiv des Kinos wirksam sind. EXPORT schreibt:

reiz und reaktion. die ästhetik des konventionellen films ist eine physiologie des verhaltens, seine kommunikationsweise ein ereignis der perzeption. ping pong expliziert das herrschaftsverhältnis zwischen produzent (regisseur, leinwand) und konsument (zuschauer). was hier das auge dem hirn erzählt, ist anlass zu motorischen reflexen und reaktionen. ping pong macht die ideologischen verhältnisse sichtbar. zuschauer und leinwand sind partner eines spiels, dessen regeln der regisseur diktiert.⁴

In *ping pong* sollen die Eingriffsmöglichkeiten des Spielers in das filmische Geschehen also gerade nicht als eine Form der Freiheit verstanden werden. Reflexe und Reaktionen werden vom Regisseur (in

² Vergleiche hierzu Andreas Lange. *Spielmaschinen. Ein Ausstellungskatalog*. Berlin: Verband der Unterhaltungssoftware Deutschlands e.V. und Förderverein für Jugend und Sozialarbeit e.V., 2002, S. 24-25.

³ Ebd., S. 24.

⁴ Ebd.

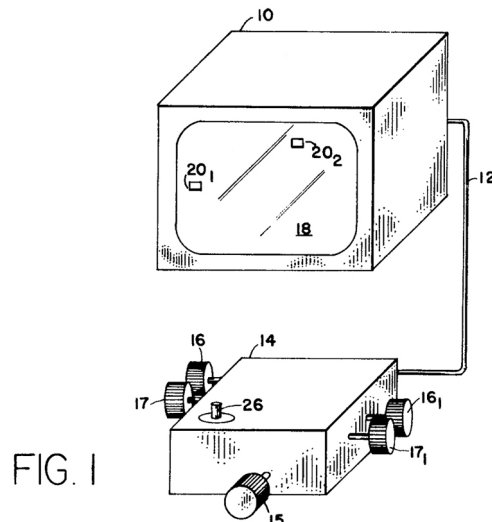


Abbildung 23: Schematische Darstellung der *Brown Box* (aus der Patentschrift Ralph H. Baer. »Television Gaming and Training Apparatus«, 1973).

diesem Falle der Künstlerin) diktiert, der Zuschauer wird abgerichtet. Begriffe wie „Perzeption“ und „Physiologie des Verhaltens“ machen klar, dass EXPORT das Herrschaftsverhältnis des konventionellen Films im Licht von Verhaltensforschung und -kontrolle sieht.

6.1.2 Pong

Zur gleichen Zeit arbeitet der Ingenieur Ralph Baer ebenfalls an einem Tischtennispiel. 1968, im selben Jahr, in dem EXPORT *ping pong* der Öffentlichkeit präsentiert, meldet Baer das Ergebnis seiner Arbeit zum Patent an.⁵ Als Fernsehtechniker und Leiter der *Equipment Design Division* der Rüstungsfirma *Sanders Associates* war es ihm in den vorangegangenen Jahren gelungen, einen kleinen Teil der Ressourcen der Firma in die Entwicklung eines Spielzeugs zu investieren.⁶ Dieses Spielzeug ist die „Brown Box“, die an einen Fernseher angeschlossen wird und sich als direkter Vorläufer des berühmten *Pong* entpuppen wird. Als konsequente Synthese aus Fernsehen und militärischer Forschung in der Tradition der Regelungstechnik ist sie ein Gerät, das die Lichtpunkte auf der Mattscheibe eines Fernsehgerätes an einen Regelkreis zu deren Steuerung koppelt (Abbildung 23):

It is, therefore the primary object of the present invention to provide an apparatus and methods for displaying video signals upon the screen of a television receiver, whe-

⁵ Ebd., S. 9.

⁶ Vergleiche hierzu Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 80-87, Lange, *Spielmaschinen. Ein Ausstellungskatalog*, S. 65, sowie Steven L. Kent. *Forgotten Fathers*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 1997. URL: <http://www.videotopia.com/edit2.htm>.

re some or all of the video signals are both generated and controlled by the viewer.⁷

Baer ist sich bewusst, dass er dabei ist, das Verhältnis von Fernseher und Zuschauer grundlegend zu verändern. Er eröffnet die Patentschrift mit den Worten „The invention relates to an apparatus and method by means of which standard television receivers can be utilized as active rather than passive instruments.“⁸ Und wenn er sich an anderer Stelle erinnert „I’m sitting around the East Side Bus Terminal during a business trip to New York thinking about what you can do with a TV set other than tuning in channels you don’t want.“⁹ wird klar, dass für ihn das aktive Eingreifen dem passiven Wählen zwischen gleichermaßen uninteressanten Kanälen vorzuziehen ist.

Nun kann man diese Öffnung des Fernsehens zwar als solch ein emanzipatorisches Aufbrechen des Mediums verstehen, der zweite Teil des Titels der Patentschrift macht aber deutlich, dass auch Baer seinen Apparat im Kontext von Kontrolle und Erzeugung von Verhalten sieht. Es handelt sich um einen „Television Gaming and Training Apparatus“¹⁰, denn:

It is a further object of the present invention to provide a device whereby an individual may pit his alertness, skill, manual dexterity and visual acuity on automatically controlled video displays.¹¹

Dies mag in erster Linie als Zugeständnis an den Kontext zu lesen sein, in dem der Prototyp entsteht. Als Zulieferer für das Militär ist *Sanders Associates* naturgemäß wenig an der Herstellung von Spielzeug interessiert und die Führungsetage der Firma hält das Projekt für Zeitverschwendung.¹² Erst als Baer der *Brown Box* eine Light-Gun hinzufügt, die nicht nur mediengeschichtlich an die militärischen Wurzeln interaktiven Rechnens anschließt, sondern auch als Gewehr gestaltet ist, erkennen Baers Vorgesetzte das Potential der Erfindung¹³.

Die Zusammenfassung der Patentschrift nennt das (militärisch sinnvolle) Training so noch vor dem Spielen: Die *Brown Box* ist nutzbar „for the purpose of training simulation, for playing games, and for engaging in other activities by one or more participants.“¹⁴ Diese Nutzbarkeit ist aber offensichtlich relativ begrenzt. Der Prototyp wird gerade nicht als militärisches Trainingsgerät vermarktet,

7 Ralph H. Baer. »Television Gaming and Training Apparatus«. 1973, S. 13.

8 Ebd.

9 Zitiert nach Kent, *Forgotten Fathers*.

10 Baer, »Television Gaming and Training Apparatus«, Hervorhebung von mir.

11 Ebd., S. 13.

12 Kent, *Forgotten Fathers*.

13 Ebd.

14 Baer, »Television Gaming and Training Apparatus«, S. 1.

sondern an die Heimelektronikfirma *Magnavox* verkauft, die ihn 1972 als Spielkonsole *Odyssey* auf den Markt bringt.

Dass man an der *Brown Box* und *Odyssey* etwas lernt, scheint aber trotzdem allen Beteiligten klar zu sein. Der Regelkreis des Computerspiels verlangt die motorischen Reflexe und Reaktionen eines *human being as a servo* und offenbart ganz offensichtlich eine Physiologie des Verhaltens, die die der Konditionierung zu sein scheint.

Tatsächlich beginnt das Spielen mit der *Brown Box* spiegelbildlich zur Arbeit EXPORTS mit der Wiederholung des Experiments von Wiener und Bigelow: Wie in Anschluss an sowohl deren Einsatz einer Drehkurbel, als auch an die gesamte Radartechnik des Zweiten Weltkriegs, deren Drehregler zur zweidimensionalen Zielauswahl bereits 1963 in Engelbarts Maus gewandert waren, nutzen Baer und sein Team zunächst zwei Potentiometer, die jeweils die x- und y-Komponente der Position eines Lichtpunktes auf dem Bildschirm steuern.

Das erste Spiel, das diese Technik nutzt, basiert auf der Dopplung der Controller, so dass zwei Spieler jeweils die Steuerung eines Lichtpunktes übernehmen. Die Spielaufgabe ist identisch zu der bei EXPORT und Wiener: „one player chases another player“¹⁵ – der eine Lichtpunkt muss den anderen treffen. Die zwei Lichtpunkte werden schließlich um einen dritten ergänzt, dessen Bewegung von einer festverdrahteten Logik kontrolliert wird. Er wird daraufhin zum „Ball“, die anderen beiden zu „Schlägern“ und es entsteht „a respectable ping pong game“¹⁶.

Auch technisch beginnt die *Brown Box* als Kind der klassischen Regelungstechnik: wichtige Teile ihrer Elektronik sind analog, und auch bei ihren digitalen Komponenten handelt es sich um spezialisierte Hardware, die alles andere als rechnende universelle Maschine ist.¹⁷ Die wohl berühmteste Folge dieses Designs ist die Tatsache, dass weder die *Brown Box* noch die *Odyssey* in der Lage sind, Punkte zu zählen – weshalb die Spielenden selbst den Punktestand durch mitgelieferte Chips nachhalten müssen. Trotzdem aber ist das Gerät schon von der Idee der universellen Maschine infiziert: In die *Odyssey* können Karten mit aufgedruckten Schaltkreisen eingesteckt werden, die die Verschaltung ihrer Hardware und so das Verhalten der Lichtpunkte auf dem Bildschirm verändern können. Farbige Folien, die auf dem Bildschirm angebracht werden, „semantisieren“¹⁸ das Verhalten zusätzlich, wodurch die Anzahl der verfügbaren Spiele größer sein kann, als die Anzahl möglicher Schaltungen. So wird Tischtennis nach der Entfernung der Linie in der Mitte (die für das Netz steht) und dem Hinzufügen einer blauen Folie auf dem Bildschirm (die die

¹⁵ Kent, *Forgotten Fathers*.

¹⁶ Baer zitiert nach ebd.

¹⁷ Vergleiche hierzu Andrew Bub. *The Original GamerDad: Ralph Baer. Interview by Steve Fulton*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2005. URL: <http://pongmuseum.com/history/baer-originalgamedad.php>.

¹⁸ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 81.

Eisfläche repräsentiert) zu Eishockey.¹⁹ „Aus sechs »abstrakten« Bewegungsrepertoires werden also erst und nur durch elf Overlays auch tatsächlich elf Spiele.“²⁰

Als Produkt ist die *Odyssey* zunächst nur mäßig erfolgreich. Baer vermutet, dass die Werbung für das Spielzeug fälschlicherweise den Eindruck erweckt habe, die *Odyssey* würde nur mit Fernsehern von *Magnavox* funktionieren, was potentielle Kunden abgeschreckt haben könnte.²¹ Finanzieller Erfolg wird sich jedenfalls erst über Umwege einstellen, als Nolan Bushnell 1972 mit seiner Firma *Atari* das Prinzip hinter der *Brown Box* kopiert und als *Pong* auf den Markt bringt, woraufhin er von *Magnavox* verklagt wird.

Mit dem Nachbau wiederholt *Atari* in gewissem Sinne die Geschichte, die *Whirlwind* zur Feedbackmaschine gemacht hat. *Pong* ist so sehr Digitalrechner, der aus einem analogen System zur Regelung unter Einbeziehung von „people in the loop“²² hervorging, dass sich die Anwälte von *Atari* im Prozess darauf berufen, *Pong* wäre eben deshalb keine Kopie der *Odyssey*, weil es digital im Gegensatz zu einer angeblich analogen *Odyssey* sei.²³ *Pong* kann Punkte zählen und wird 1975 von *Atari* auf einem einzigen digitalen Mikrochip untergebracht und als *Home Pong* verkauft. *General Instrument* radikalisiert diesen Ansatz schließlich und verkauft keine Spielkonsole, sondern einen *Pong Chip*, der das gesamte Spiel enthält und sich in der Folge in zahlreichen „unterschiedlich aussehenden [oder semantisierten], aber technisch identischen *Pong* Konsolen“²⁴ finden wird.

Die Richter wollen der Argumentation, nach der der Übergang von der analogen *Odyssey* zum digitalen *Pong* die Patentansprüche von *Magnavox* entkräften würde, allerdings nicht folgen. Sie sind der Meinung, dass *Atari* die „means“ und „function“ der *Odyssey* kopiert habe²⁵, wodurch die Konsole doch noch zum kommerziellen Erfolg werden kann. Denn bis in die späten 1980er Jahre fallen Lizenzgebühren von zahlreichen Firmen an – allen voran *Atari*.²⁶

Es ist erstaunlich, wie deutlich in der Entwicklung von *Odyssey* und *Pong* das Dispositiv der Interaktion sichtbar wird. Die Drehregler beider Geräte rufen nicht nur ihr radartechnisches Erbe in Erinnerung, die Spielaufgaben entsprechen zugleich auch der des manuellen *laying* an der Drehkurbel eines Flugabwehrgeschützes. Nicht umsonst heißen die Eingabegeräte beim Computerspielen bis heute wie in Anlehnung an die *controls* der Ära der klassischen Regelungstechnik „controller“. Und beim Jagen des anderen Spielers wie auch beim

19 Kent, *Forgotten Fathers*.

20 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 83.

21 Kent, *Forgotten Fathers*.

22 Everett, »Whirlwind«, S. 366.

23 Bub, *The Original GamerDad: Ralph Baer. Interview by Steve Fulton*.

24 Andreas Lange. *pong.mythos*. Berlin: Förderverein für Jugend und Sozialarbeit e.V., 2006, S. 13.

25 Bub, *The Original GamerDad: Ralph Baer. Interview by Steve Fulton*.

26 Lange, *pong.mythos*, S. 12.

Abfangen des Balls gilt es, durch Vorhersage seiner Bewegung dem *laying* ein *lead* mit auf den Weg zu geben. Tatsächlich verstehen die Richter unter „Funktion“ und „Mitteln“, die mit *Pong* kopiert werden, genau die Fähigkeit der Maschine, auf ein korrektes Abfangen zu reagieren. In einer Klarstellung, die Baer 2007 im Internet veröffentlicht, um den Spekulationen über die Umstände der Prozesse um die *Odyssey* ein Ende zu bereiten (und dabei auch alle Zweifel an seiner Urheberschaft am Genre der Videospiele auszuräumen), liefert er (in einer ihre Unumstößlichkeit unterstreichenden Großschreibung) eine Definition dessen, was die entsprechenden Patente abdecken:

THE LAWSUITS WERE MAINLY ABOUT INFRINGING ON THOSE CLAIMS IN OUR PATENTS THAT DEALT WITH THE INTERACTION BETWEEN MACHINE-CONTROLLED AND MANUALLY CONTROLLED SYMBOLS ON SCREEN. IF THERE WAS A CHANGE IN THE PATH, DIRECTION OR VELOCITY OF THE MACHINE CONTROLLED SYMBOL IMMEDIATELY AFTER „CONTACTING“ – i.e. COMING INTO COINCIDENCE WITH ONE OF THE MANUALLY CONTROLLED SYMBOLS ON SCREEN, THEN THE GAME EXHIBITING THESE FUNCTIONS INFRINGED.²⁷

Odyssey oder *Pong* spielen bedeutet also nicht nur, vorprogrammierte Bewegung zu verfolgen und vorherzusagen, es setzt auch die Fähigkeit dieser Spielmaschinen voraus, das Berechnen einer Bewegung unterbrechen und anpassen zu können. Es benötigt eine Feedbackmaschine, wie digital oder teilanalog auch immer sie rechnen mag. Tatsächlich nutzt die *Odyssey* ausgerechnet für die Detektion von Koinzidenz (heute würde man von Kollisionsabfrage oder *collision detection* sprechen) und die anschließende Unterbrechung des Spielflusses eine binäre Und-Verknüpfung zweier Signale. Und auch die reaktive Umkehrung der Bewegungsrichtung des „Balls“ wird von digitalen Flip-Flops realisiert.²⁸

Noch dazu findet die Entwicklung der *Brown Box*, wie zur Illustration des Foucault'schen Dispositivbegriffs, in einer Institution statt, die Teil des militärisch-industriellen Komplexes der USA ist, aus dem das interaktive Rechnen, wie oben entwickelt, hervorgegangen ist. Es wundert daher nicht, dass sich auch die Problemfelder, die das Dispositiv der Interaktion prägen, an *Pong* und *ping pong* herauskristallisieren – darunter das Problem symbolischer Repräsentation im Kontext algorithmischer Zeichen, vor allem aber das Problem der „agency“ in Schleifen zirkulärer Kausalität. Vor einer weitergehenden Analyse dieser Probleme soll zunächst aber ein Blick auf das zweite Feld

²⁷ Ralph H. Baer. *Videogame History: Getting things straight*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2007. URL: http://www.pong-story.com/RHB-getting_things_straight.pdf, S. 2.

²⁸ Ebd., S. 3.

geworfen werden, das von EXPORTs *ping pong* neben dem Computerspielen aufgemacht wird: die interaktive Medienkunst der 1990er Jahre, die für viele ihrer Kritiker vor allem eine „interaktive Medienkunst“ ist.

6.1.3 „Interaktive Medienkunst“

EXPORTs Arbeit ist zunächst Ausdruck künstlerischer Strömungen der 1960er Jahre, in denen, so der Kunsthistoriker Dieter Daniels, das Verhältnis von Künstler, Werk und Rezipient neu verhandelt wird. Intermedia, Happening und Fluxus setzen „an die Stelle eines abgeschlossenen Werkes das Angebot an das Publikum, seine Erlebnisse im Umgang mit Kunst wesentlich selbst zu bestimmen“²⁹. Diese Idee der „Rezeption als Partizipation“ erweist sich, so Daniels, als „ein Leitmotiv der Moderne“³⁰. Dabei beginnt diese Idee nicht mit dem „aktiven“ physischen Eingreifen der Rezipienten in ein Werk, sondern ist vielmehr Ausdruck eines Denkstils, der bereits die „passive“ Wahrnehmung von Kunst zunehmend als wesentlich vom Rezipienten abhängig begreift, womit „sich die Frage der Partizipation des Betrachters schon stellt, bevor technische Medien in der Kunst verwendet werden.“³¹ Mit dem Aufkommen dieser Medien kommt es aber, so Daniels weiter, zu einem „Paradigmenwechsel der Interaktivität“. Mit Bezug auf die Kunst der 1960er und 1990er Jahre schreibt er:

In den 60er Jahren soll gerade durch die Kombination von Zielen der Ideologie mit Mitteln der Technologie die Wirkung von Kunst und Medien aneinander gekoppelt werden. Die soziale und kulturelle Utopie liefert das Ziel einer erhofften zukünftigen Funktion der Medien, die eine gesamtgesellschaftliche Veränderung auslösen soll. In den 90er Jahren hat sich diese Relation völlig umgekehrt. Die Medientechnologie ist ihrerseits zum bestimmenden Leitmotiv geworden, aus dem alle sozialen, kulturellen und ökonomischen Veränderungen hervorgehen sollen.³²

Daniels überschreibt diese Pole mit den Schlagworten „Ideologie“ und „Technologie“ und identifiziert sie mit Positionen wie der Forderung Brechts, den Rundfunk „aus einem Distributionsapparat in einen Kommunikationsapparat zu verwandeln“ auf der einen Seite, und Turings Idee des Turing-Tests (als ideale Form der Mensch-Maschine-Interaktion) auf der anderen oder mit den „offenen“ Stücken

29 Dieter Daniels. *Strategien der Interaktivität*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2000. URL: http://www.hgb-leipzig.de/daniels/vom-readymade-zum-cyberspace/strategien_der_interaktivitaet.html.

30 Ebd.

31 Ebd.

32 Ebd.

von John Cage versus dem „geschlossenen“ Betriebssystem von Bill Gates.³³

Das künstlerische Format, das diesen Übergang wahrscheinlich am deutlichsten zum Ausdruck bringt, ist die Closed-Circuit-Installation. Dieses Format bezeichnet Installationen, die über visuellen Input verfügen und auf diesen mit einem sicht- oder hörbaren Output reagieren.³⁴ Der Begriff leitet sich aus einem technischen Kontext ab, in dem von *Closed Circuit Television* (CCTV) als Gegensatz zum „offenen“ *Broadcast Television* gesprochen wird³⁵. CCTV meint so technische Anlagen, bei denen ein Videobild aufgenommen und direkt auf eine begrenzte Anzahl von Monitoren übertragen wird. Die namensgebende Geschlossenheit von CCTV bezieht sich dabei einerseits auf den konkreten Aufbau eines verkabelten Systems, bei dem es anders als beim Fernsehen keine große Zahl externer Rezipienten gibt. Andererseits bedeutet die lokale Verschaltung von Kameras und Monitoren die prinzipielle Möglichkeit, dass die „closed loops“ des Feedbacks zwischen ihnen entstehen können. Auch die künstlerische Aneignung dieser technischen Konfiguration ist zunächst vom geschlossenen Regelkreis zwischen Betrachter, Kamera und Monitor gekennzeichnet³⁶: „The body is therefore as it were centered between two machines that are the opening and closing of a parenthesis.“³⁷

Eine frühe Closed-Circuit-Installation ist „Live-Taped Video Corridor“ von Bruce Nauman (1970): Die Arbeit besteht aus einem schmalen Gang, an dessen Ende ein Monitor platziert ist, der das Videobild einer Kamera vom Anfang des Gangs zeigt. Nähert man sich durch den Gang dem eigenen Bild, entfernt man sich von der Kamera, die es aufnimmt, und wird dadurch mit zunehmender Nähe zum Monitor immer kleiner auf ihm abgebildet. Die offensichtliche Möglichkeit, hier physisch in das Kunstwerk einzugreifen, wird so von einem technischen Aufbau determiniert, der eine Betrachtung des eigenen Körpers konsequent erschwert. Die Rezeption der Arbeit erlaubt so keine Partizipation im Sinne einer freien Mitgestaltung. Die Arbeit ist vielmehr so konstruiert, dass genau eine bestimmte Aktivität (der Versuch, sich auf dem Monitor zu betrachten) genau einen bestimmten Effekt hervorruft (das Scheitern dieses Versuchs). Sie macht daher, so Daniels, „den Betrachter durch die Irritation über seine An- oder Abwesenheit im Videobild eher zum Versuchsobjekt anstatt zum Mit-

33 Ebd.

34 Zur Definition vergleiche Slavko Kacunko. *Closed Circuit Videoinstallationen*. Berlin: Logos Verlag, 2004, S. 77-88. Vergleiche auch Annette Jael Lehmann. *Kunst und Neue Medien: Ästhetische Paradigmen seit den sechziger Jahren*. Stuttgart: UTB, 2008, S. 160-163.

35 Kacunko, *Closed Circuit Videoinstallationen*, S. 44.

36 Vergleiche hierzu auch Schröter und Spies, »Interface. Analoges Closed Circuit versus Digitale Interaktivität?«, S. 112, die auf die hier zitierte Formulierung von Rosalind Krauss verweisen.

37 Rosalind Krauss. »Video: The Aesthetics of Narcissism«. In: *October* 1 (1976), S. 50-64, S. 52.

spieler.“³⁸ Damit führt sie den Paradigmenwechsel von Partizipation zur Interaktivität beispielhaft vor und Nauman kann „als Vorläufer einer Haltung gelten, die statt zur kreativen Partizipation genau zum Gegenteil führt: einer radikalen Konditionierung des Betrachters durch das Werk, das ihn auf seine eigene Körper-Bild-Erfahrung zurückwirft.“³⁹

Unter Bezugnahme auf seine Gegenüberstellung von Cage und Gattes macht Daniels dabei deutlich, dass er die Konditionierung, die er exemplarisch dem „Live-Taped Video Corridor“ unterstellt, nicht ausschließlich als Eigenschaft eines bestimmten Genres ansieht. Sie ist vielmehr Eigenschaft des Umgangs mit interaktiven Computern im Allgemeinen und dem Computerspielen im Besonderen: „Zweifello“, schreibt er, „löst heute der Computer das Klavier als meistverbreitetes Tasteninstrument im Heim ab. Aber die Befreiung der Jugend von der oft als Qual empfundenen Klavierübung wird meist nicht durch eine offene Form im Sinne Cages erreicht, sondern durch die freiwillige Selbstkonditionierung in der Interaktion mit industrieller Software wie Computerspielen ersetzt.“⁴⁰

Natürlich spiegelt, wie Rosalind Krauss früh angemerkt hat, das Entstehen von Closed-Circuit-Installationen den Arbeitskontext von Videokünstlern wider, die bei Aufnahmen in ihrem Studio ganz selbstverständlich mit dem Feedback von Kamera und Monitor konfrontiert werden und dieses nur in den Ausstellungskontext zu übertragen brauchen.⁴¹ Das Genre entsteht also in einem gewissen Maße als Folge einer Arbeitspraxis und eines Laborkontexts, also einer diesmal künstlerischen *feedback culture*, die wiederum deutlich von den technischen Eigenschaften des Mediums Video geprägt ist. Krauss besteht aber zu Recht darauf, dass die Situation weit komplizierter ist. Nicht zufällig entsteht hier in der intensiven Auseinandersetzung mit der Zirkularität der Aufnahme und Wiedergabe von Bild und Ton eine Auseinandersetzung mit der Rückkopplung von Handlungen auf den Kontext, der diese Handlungen hervorbringt und rahmt. Damit aber nimmt die Auseinandersetzung mit dem geschlossenen Bildkreislauf der Videoüberwachung die Auseinandersetzung mit den Feedback-Aspekten interaktiver Rechner vorweg. Feedback ist nicht nur die zentrale Eigenschaft von Closed-Circuit-Installationen, es macht sie darüber hinaus zu einem Modell interaktiver Medienkunst insgesamt. Der Kunsthistoriker Slavko Kacunko hält dementsprechend fest: „Selbst die kunsthistorischen Vertreter einer »interaktiven Medienkunst«, die ausschließlich über die Verwendung von digitalen Algorithmen zwischen Inputs und Outputs definiert werden wollen [...], stimmen der konstituierenden

³⁸ Daniels, *Strategien der Interaktivität*.

³⁹ Ebd.

⁴⁰ Ebd.

⁴¹ Krauss, »Video: The Aesthetics of Narcissism«, S. 62.

Rolle des kybernetischen Input-Output-Rückkopplungsverhältnisses für die interaktive Medienkunst zu“⁴².

In der Tat ist der Übergang von den Closed-Circuit-Installationen, die zunächst mit analogen Videosystemen arbeiten und gerade nicht „über die Verwendung von digitalen Algorithmen zwischen Inputs und Outputs definiert“ sind, zu Kunstwerken, die interaktive Computer verwenden, alles andere als ein Bruch.⁴³ Peter Weibel, der einer der Künstler ist, die in beiden Feldern tätig waren, betont, dass „beobachterzentrierte Closed-circuit-Installationen die interaktiven Computerinstallationen der Neunziger vorwegnahmen“⁴⁴. Interaktive Kunst schaltet nach dieser Sicht (unterbrechbare) Algorithmen auf die Rückseite der Klammer, in der sich der Betrachter befindet, und macht so aus der Klammer zwischen zwei Maschinen eine Klammer zwischen In- und Output – wobei die Outputs zwangsläufig vom indexikalischen Videobild zu symbolischen Repräsentationen werden.

Neben Weibel und EXPORT gehört auch Jeffrey Shaw „zu den Künstlern, die mit ihrer Arbeit an Interaktionsformen eine Brücke zwischen den Ansätzen der 60er und der 90er Jahre schlagen“⁴⁵. Seine Installation *The Legible City* (1988-1991)⁴⁶ ist ein frühes Werk solcher interaktiver Kunst und gilt bis heute als kanonisches Werk des Genres⁴⁷. Die Installation besteht aus einem umgebauten Klapprad und einer Projektion, auf der dreidimensional dargestellte Buchstaben zu sehen sind. Die Buchstaben sind nach Ausschnitten der Stadtpläne von New York, Amsterdam oder Karlsruhe angeordnet und ergeben Wörter und Sätze aus Quellenmaterial mit Bezug zu diesen Städten. Durch Treten der Pedale lassen sich diese virtuellen Buchstabenstädte navigieren, der Betrachter „fährt“ durch ihre Straßen und kann den dort verteilten Texten folgen.

In seiner umfangreichen Kulturgeschichte der kalkülisierten und algorithmischen Sprache liefert Florian Cramer eine lesenswerte und, wie er selbst feststellt, naheliegende Kritik dieser „Textkitschwelt“⁴⁸. Er zitiert eine affirmative Besprechung der Arbeit, die sie zur „Referenz elektronischer Poesie schlechthin“ erklärt, mit den Worten, dass hier „die eigene Aktivität mit der Bewegung des digitalen Bildes auf

42 Kacunko, *Closed Circuit Videoinstallationen*, S. 36.

43 Vergleiche hierzu auch Lev Manovich. *The Language of New Media*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001, S. 56-57.

44 Zitiert nach Kacunko, *Closed Circuit Videoinstallationen*, S. 109.

45 Daniels, *Strategien der Interaktivität*. Söke Dinkla erklärt ebenfalls, Shaw „transferred his participational concept of art, which he developed during the sixties, to computer installations.“ Söke Dinkla. »The History of the Interface in Interactive Art«. In: *Proceedings of ISEA*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 1994. URL: http://www.kenfeingold.com/dinkla_history.html.

46 Jeffrey Shaw. »The Legible City. 1988-1991«. In: *Im Buchstabenfeld. Die Zukunft der Literatur*. Hrsg. von Peter Weibel. Graz: Literaturverlag Droschl, 2001, S. 387-398.

47 Florian Cramer. *Exe.cut(up)able statements. Poetische Kalküle und Phantasmen des selbstausführenden Texts*. München: Wilhelm Fink Verlag, 2011, S. 240.

48 Ebd.

der Leinwand gleichgeschaltet war.“⁴⁹ An dieser „Gleichschaltung“ hängt Cramer eine Kritik auf, die das Verhältnis von Produzent und Rezipient der Arbeit ganz im Sinne EXPORTs verhandelt. Die Bedeutungsbezüge, die sich beim Navigieren der Arbeit zwischen Text und Stadt oder Text und Text ergeben, sind nämlich, so Cramer, „nicht spontan, sondern Teil einer vorab determinierten Menge mathematischer Kombinationsmöglichkeiten“⁵⁰. Die von Shaw unterstellte Kontrollierbarkeit der Lesereise ist daher als ihr Gegenteil aufzufassen:

Shaw erkennt also weder den Illusionscharakter seiner Arbeit, noch ihre Struktur eines künstlichen behavioristischen Systems, in dem Körper und Technik in ein prekäres Verhältnis wechselseitiger Kontrolle treten. Es ist die Maschine, die hierbei gewinnt, weil sie den Abstraktionsrahmen vorgibt und vom Fahrradfahrer nicht umprogrammiert werden kann.

Diese künstlerische Dummheit charakterisiert nicht nur Shaws Arbeit, sondern das gesamte Feld sogenannter »interaktiver Kunst«, die sich auf einem simplifizierten, reduktiven Verständnis von Interaktion als kybernetische Rückkopplung und Reiz-Reaktions-Schemata gründet, einen Behaviorismus, den in *black boxes* versteckte Maschinenalgorithmen noch zusätzlich restringieren.⁵¹

Die Rede vom „Illusionscharakter“ der Arbeit bezieht sich dabei unmissverständlich auf die symbolische und damit zwangsläufig illusionistische Darstellung ihrer Oberfläche. Denn diese besitzt, wie gesehen, keinerlei „natürlichen“ Bezug zu den „versteckten Maschinenalgorithmen“ an ihrer Unterfläche und basiert in erster Linie auf kulturellen Konventionen – in diesem Fall der Konvention zentralperspektivischer Darstellung. Und auch wenn Maschine und Rezipient hier in ein kybernetisches und „prekäres Verhältnis wechselseitiger Kontrolle treten“, ist für Cramer doch klar, dass dieser Zirkel einen Anfang hat: Die Maschine gibt einen Aktionsrahmen vor, unterwirft den Rezipienten ihrer Kontrolle und bleibt letztlich unkontrollierbar.

Es sind Arbeiten wie *Legible City*, die bereits während der Hochphase „sogenannter »interaktiver Kunst«“ in den 1990er Jahren genau dieser Kritik unterzogen werden. Der Netzkünstler Alexei Shulgин veröffentlicht zum Beispiel 1996 auf der Mailingliste *nettime*, die zu dieser Zeit Plattform einer Avantgarde der künstlerischen Arbeit mit Computern und dem Internet ist, den manifestartigen Text „Art, Power, and Communication“, in dem er die direkte Manipulation (denn nichts anderes ermöglichen und verlangen Modellwelten wie

49 Stephan Porombka zitiert nach Cramer, *Exe.cut(up)able statements. Poetische Kalküle und Phantasmen des selbstausführenden Texts*, S. 240.

50 Ebd., S. 242.

51 Ebd.

die der *Legible City*) an den Schnittstellen interaktiver Medienkunst als Manipulation der Benutzer durch diese Schnittstellen begreift: „Looking at very popular media art form such as »interactive installation« I always wonder how people (viewers) are exited about this new way of manipulation on them.“⁵² Medienkunst vollzieht nach dieser Argumentation, so wie später bei Daniels, den Übergang zur Verhaltenskontrolle: „So, emergence of media art is characterised by transition from representation to manipulation.“ Lev Manovich wird diesen Angriff umgehend aufgreifen und im gleichen Jahr unter der Überschrift „Über die totalitäre Interaktivität“ weiter ausbauen. „Interaktive Computerinstallationen“, heißt es hier – jetzt wieder unter Verweis auf die Experimentalpsychologie – „stellen in der Tat eine fortgeschrittene Form der Publikumsmanipulation dar, indem das Subjekt einer Struktur ausgesetzt wird, die der Versuchsanordnung in einem psychologischen Laboratorium oder einer High-Tech-Folterkammer des CIA oder KGB ähnlich ist, wie man sie oft in den Spionagefilmen aus dem Zeitalter des Kalten Krieges gesehen hat.“⁵³

Auch Manovich entpuppt sich dabei als Vertreter des Denkstils, nach dem die Rezeption eines Kunstwerks schon immer eine partizipative Komponente besessen hat, und so erscheint auch ihm der Übergang zur „interaktiven Kunst“ als Verlust dieser Partizipation: „Die interaktive Computerkunst versteht »Interaktion« wörtlich, indem sie diese auf Kosten der psychischen Interaktion mit einer rein physikalischen Interaktion zwischen einem Benutzer und einem Kunstwerk (das Drücken eines Knopfes) gleichsetzt.“⁵⁴

Dieses „wörtliche“ Verstehen von Interaktion wird in seinem Buch „The Language of New Media“⁵⁵ zur wichtigsten Eigenschaft neuer Medien überhaupt: „When we use the concept of »interactive media« exclusively in relation to computer-based media, there is danger that we interpret »interaction« literally, equating it with physical interaction between a user and a media object (pressing a button, choosing a link, moving the body), at the sake of psychological interaction.“ Als Problem einer wörtlich verstandenen Interaktion sieht Manovich dabei nicht nur den Verlust des kommunikativen Austauschs nach dem Ideal der *face-to-face*-Kommunikation, sondern auch den der Interpretationsfreiheit: „The psychological processes of filling-in, hypothesis forming, recall and identification, which are required for us to comprehend any text or image at all, are mistakenly identified with an objectively existing structure of interactive links.“⁵⁶

52 Alexei Shulgin. *Art, Power, and Communication*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 1996. URL: <http://www.nettime.org/Lists-Archives/nettime-l-9610/msg00036.html>.

53 Lev Manovich. »Über die totalitäre Interaktivität«. In: *Telepolis* (1996). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: <http://www.heise.de/tp/artikel/2/2063/1.html>.

54 Ebd.

55 Ein Buch, das sich über weite Strecken als Kondensat der vorangegangenen Diskussionen auf *nettime* verstehen lässt. Vergleiche Manovich, *The Language of New Media*, S. xxxviii.

56 Ebd., S. 57.

Damit aber forcieren interaktive Medien die „Externalisierung“ und „Objektivierung“ des Mentalen⁵⁷. Sie verlangen, wie in Cramers Kritik der *Legible City*, das Befolgen vorherbestimmter Abläufe: „In short, we are asked to follow pre-programmed, objectively existing associations. Put differently, [...] we are asked to mistake the structure of somebody's else mind for our own.“⁵⁸ Manovich offenbart sich damit als Vertreter eines kognitivistischen Verständnisses von Interaktion, indem er hier gewissermaßen eine kulturpessimistische Lesart der Forderung des *Cognitive Engineering* formuliert, der Designer eines Systems möge und könne über dessen *System Image* seinen Nutzern möglichst ein mentales Modell vermitteln, das seinem *Design Model* entspricht.

Es ist diese Kritik an der Konditionierung durch das Dispositiv der Interaktion, die EXPORT so punktgenau für ihr proto-interaktives *ping pong* formuliert, die sich bei Daniels (oder in kunstwissenschaftlichen Lehrbüchern⁵⁹) wiederfinden wird und wegen der Shulgin, Manovich, Cramer oder Kacunko den Begriff „interaktive Medienkunst“ in Anführungszeichen setzen.

6.1.4 Behaviorismus

Wenn Menschen an *Pong* so offensichtlich in der Tradition der *servomechanisms* Bewegungen verfolgen und vorhersagen, wundert es nicht, dass Spielen hier tatsächlich bedeutet sich „more or less like a robot“⁶⁰ zu verhalten. In diesem Sinne hat Pias ausführlich gezeigt, wie sehr *Pong* weniger Ausdruck eines „cognitive engineering“ ist, als vielmehr des „behavioral engineering“ eines Burrhus Frederic Skinner⁶¹ – womit er obige Verweise auf Interaktion als Konditionierung zu Ende formuliert. Skinner ist ein wichtiger Vertreter des amerikanischen (Neo-)Behaviorismus, gegen den sich zunächst der neue Behaviorismus der Kybernetik und wenig später die frühe Kognitionswissenschaft als „new technique for the behavioral sciences“⁶² so erfolgreich absetzen wird. Seine wichtigste Errungenschaft ist die Beschreibung des „operant conditioning“: der Konditionierung von zielgerichtetem Verhalten.⁶³ Anders als die klassische Konditionierung nach Pawlow, bei der reflexartiges Verhalten ausgelöst wird, lehrt

57 Manovich, *The Language of New Media*, S. 57.

58 Ebd., S. 61.

59 Lehmann, *Kunst und Neue Medien: Ästhetische Paradigmen seit den sechziger Jahren*, S. 160-163.

60 Wie Hazen bereits zur Zeit der Untersuchung des „human being as a servo“ das Verhalten der *operator* von Servomechanismen charakterisiert hatte. Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 284.

61 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 46-51.

62 Newell, »Information processing: a new technique for the behavioral sciences«.

63 Zur operanten Konditionierung vergleiche James H. Capshew. »Engineering Behavior: Project Pigeon, World War II, and the Conditioning of B. F. Skinner«. In: *Technology and Culture* 34.4 (1993), S. 835-857, S. 838-839.

operante Konditionierung Reiz-Reaktions-Muster, indem bei Anwesenheit bestimmter Reize durch Belohnung oder Bestrafung ein entsprechendes Verhalten verstärkt wird. Die „Skinner Box“ implementiert dieses Verfahren in einer Kiste, in der ein Tier (etwa eine Ratte oder eine Taube) für den Druck auf einen Hebel mit Wasser oder Futter belohnt werden kann. So lassen sich dem Tier Verhaltensformen beibringen, die in seinem „natürlichen“ Handlungsrepertoire nicht enthalten sind.

Verblüffend analog zu Galisons Interpretation der Arbeit Wieners, die unter dem Eindruck des Zweiten Weltkriegs einen Sprung von „rein wissenschaftlichen Fragen“⁶⁴ zu einer angewandten Universalwissenschaft gemacht habe, liest der Wissenschaftshistoriker James Capshew Skinners Biografie als ganz ähnliche „Metamorphose“⁶⁵: Auch Skinner ist, so Capshew, ursprünglich „a scientific purist“, der sich nicht für die Anwendung seiner Forschung interessiert. Nach dem Krieg versucht er dagegen, den Behaviorismus auf zahlreiche Probleme der Menschheit anzuwenden. Grund für diese Totalisierung des Behaviorismus ist nach dieser Lesart ebenfalls eine gescheiterte Technologie zur Luftabwehr: Das „Project Pigeon“ beginnt mit der Idee, gelenkte Projektilen von Flugzeugen aus auf die Bomber der Nazis zu werfen.⁶⁶ Das entscheidende Problem dieser Waffe – die Lenkung – sollen konditionierte Tiere übernehmen. Skinner schreibt:

I saw a flock of birds lifting and wheeling in formation as they flew alongside the train. Suddenly I saw them as »devices« with excellent vision and extraordinary maneuverability. Could they not guide a missile? Was the answer to the problem waiting for me in my own backyard?⁶⁷

Er entwirft einen Plan für eine von Tauben gelenkte Bombe und erhält schließlich von Bush und dem NDRC die nötige Unterstützung, sie zu bauen. Es entsteht der Prototyp für eine Verknüpfung von *Skinner Box* und Lenkwaffe: Im Kopf einer Bombe werden drei Tauben platziert. Vor jeder Taube ist ein Schirm angebracht, auf den ein Linsensystem ein Bild von außerhalb der Bombe projiziert. Mit Hilfe von Fotografien wurden die Tauben zuvor darauf konditioniert, auf ein bestimmtes Ziel auf diesem Schirm zu picken.⁶⁸ Die Tauben übernehmen als Elemente in der Regelungsstrecke der Bombe also die Funktion, die Menschen beim *laying* in der Luftabwehr innehaben. Ein Servomechanismus, der von niemand anderem als dem *Servomechanisms Lab* des MIT entwickelt wird⁶⁹, überträgt die Abweichung

64 Galison, »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«, S. 281.

65 Capshew, »Engineering Behavior: Project Pigeon, World War II, and the Conditioning of B. F. Skinner«, S. 835.

66 Ebd., S. 840.

67 Zitiert nach ebd.

68 Zu den technischen Details vergleiche ebd., S. 839-848.

69 Ebd., S. 846.

des Pickens von der Mitte des Schirms auf das Leitwerk der Bombe. Die Tauben korrigieren so permanent deren Flugbahn, wobei die Verwendung dreier Tauben sicherstellt, dass nicht versehentlich ein falsches Ziel angeflogen wird.

Ähnlich wie im Falle Wieners *Anti-Aircraft Predictor* können die Daten, die der Prototyp der Bombe mit simulierten Zielflügen liefert, das NDRC aber nicht überzeugen und das Projekt wird 1944 eingestellt.⁷⁰ Nach dem Krieg aber, so Capshews Fazit, präsentiert Skinner das Projekt als Grundlage einer „technology of behavior“⁷¹. Er vollzieht eine „Wende vom Experimentalpsychologen zum Sozialingenieur“⁷² und seine rein analytische Beschäftigung mit dem epistemischen Ding beobachtbaren Verhaltens führt unter dem Eindruck des Projektes zu einem technischen Ding: dem plan- und formbaren Verhalten eines „behavioral engineering“⁷³, das aus Lebewesen „devices“ machen kann.

Es ist der Verweis auf diese *devices*, der bei Pias den Computerspieler beschreibt: „Überflüssig zu betonen, daß Skinners Tauben ein frühes Modell des Computerspielers darstellen, der mit seinen eigenen Bewegungen an die Bewegungen auf einem Screen rückgekoppelt ist.“⁷⁴ In dieser Lesart des Computerspielens als *behavioral engineering* gilt „[d]as »pong«-Geräusch der Kollisionsabfrage erscheint als Belohnung für eine richtige Antwort“⁷⁵. Damit wird das Funktionieren des Spiels zu der „Gleichschaltung“, mit der Cramer seine Kritik an *Legible City* beginnt. Diese Gleichschaltung ist eine „Kopplung von Mensch und Maschine auf einem gemeinsamen Systemtakt“⁷⁶ und aus technischer Sicht nicht weiter verwunderlich: Denn die Notwendigkeit, die exakte Reihenfolge von Rechenprozessen zu kontrollieren und im Sinne einer Synchronisation abzustimmen, ist wichtiger Teil des Algorithmusbegriffs selbst – und die Verwendung eines globalen Systemtakts ist bis heute eine verbreitete Möglichkeit, Synchronisation herzustellen.⁷⁷ Was für das Computerspielen im Besonderen gilt, gilt daher auch für die Computerbedienung im Allgemeinen. Sie setzt eine „Selbstkonditionierung in der Interaktion mit industrieller Software“ voraus: „Illiterat zu sein ist gewissermaßen die Voraussetzung für Actionspiele, bei denen es um die rückgekoppelte Rhythmisie-

70 Capshew, »Engineering Behavior: Project Pigeon, World War II, and the Conditioning of B. F. Skinner«, S. 847-848. Zu den genauen Gründen für das Scheitern des Projekts, darunter auch die schlechte Betreuung von technischer Seite, vergleiche auch ebd., S. 848-855.

71 Skinner zitiert nach ebd., S. 856.

72 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 48-49.

73 Capshew, »Engineering Behavior: Project Pigeon, World War II, and the Conditioning of B. F. Skinner«, S. 857.

74 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 51.

75 Ebd., S. 84.

76 Ebd.

77 Vergleiche hierzu Scherffig und Trogemann, »Über das Warten beim Rechnen – Synchronisationsstrategien in parallelen und interaktiven Systemen«.

rung von audiovisuellen Stimuli und sensomotorischer Reaktion geht. Nicht anders steht es mit den Benutzeroberflächen, die nicht durch Lesen von Handbüchern oder Sourcecode verstanden werden, sondern durch Anklicken oder Herumspielen, also gerade durch die Beobachtung, welche Stimuli bestimmte Reaktionen auf dem Bildschirm auslösen.“⁷⁸

Die Hypothese des Konditioniert-Werdens durch Computerspiele bringt die Künstlergruppe „//////////fur/////“ in ihrer Arbeit „Painstation“ (2001) auf den Punkt. Die *Painstation* greift das zu diesem Zeitpunkt längst kanonisierte Format *Pong* auf und ergänzt das belohnende Geräusch der Kollisionsabfrage um schmerzhaftes Bestrafung: Beide Spieler müssen dazu eine Hand auf der „Pain Execution Unit“ des Spielgeräts platzieren. Verfehlt ein Spieler mit seinem „Schläger“ den „Ball“, besteht die Chance, dass diese Hand mit den Schlägen einer Peitsche, durch Hitze oder Elektroschocks bestraft wird. Wer zuerst seine Hand von der Schmerzausführungseinheit löst, hat das Spiel verloren. Die Künstler verstehen die Arbeit zwar in der Tradition des Duells, machen hier aber auch klar, wie naheliegend die Idee des konditionierenden Computerspiels und -bedienens im Sinne des Behaviorismus tatsächlich ist.

Eine solche Argumentation stellt natürlich die Idee auf den Kopf, Spielen würde irgendeine Form der Freiheit implizieren. Eine Idee, die immer wieder vorgebracht wurde und die sich beispielsweise prominent im Spielbegriff Jean Piagets ausmachen lässt. Piagets Entwicklungspsychologie bildet eine psychologische Tradition, die sowohl dem Behaviorismus ihrer Zeit, wie auch dem entstehenden Kognitivismus radikal entgegen steht. Sie untersucht die Herausbildung „kognitiver“ Leistungen⁷⁹ in erster Linie als Wechselspiel von „Assimilation“ und „Akkommodation“. Beiden zu Grunde liegt die Existenz von Verhaltensweisen oder „Schemata“⁸⁰, die sich als das charakterisieren lassen, „was an einer Aktion [...] wiederholbar und generalisierbar ist.“⁸¹ Schemata sind so abstrakte Handlungszusammenhänge, die sich durch wiederholte Anwendung auf die Umwelt stabilisieren. „Assimilation“ besteht genau in diesem Anwenden bestehender Schemata auf die Umwelt – und damit in einer Art „Einverleiben“ ihrer Objekte.⁸² „Akkommodation“ erfolgt dagegen dann, wenn dieses Einverleiben an seine Grenzen stößt und keine passenden Verhaltensweisen mehr existieren, um die Umwelt weiter begreifen zu können. Jetzt müssen sich die Schemata selbst verändern, wodurch die An-

⁷⁸ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 47.

⁷⁹ Wobei sich der Begriff der Kognition hier deutlich von der kognitivistischen Idee regelhafter Informationsverarbeitung abhebt.

⁸⁰ Manche Übersetzer sprechen hier auch von „Plänen“, vergleiche zum Beispiel die Übersetzung Jean Piaget. *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1973 [1970], S. 51.

⁸¹ Ebd.

⁸² Jean Piaget. *Nachahmung, Spiel und Traum. Gesammelte Werke* 5. 3. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta, 1993 [1959], S. 108.

wendung und Anpassung von Schemata in ein zirkuläres Verhältnis treten: „Von da an haben alle Verhaltensweisen zwei Pole: Assimilation an die schon bestehenden Schemata und Akkomodation dieser Schemata an die neuen Bedingungen.“⁸³

Assimilation, Akkomodation und Schema sind zentrale Begriffe Piagets Entwicklungspsychologie, nach der sie sich auf allen Ebenen der Entwicklung des Denkens wiederfinden – vom Begreifen der unmittelbaren Umwelt, über das Entstehen mentaler Bilder bis hin zum Entstehen abstrakter und inter-personeller Begriffe.⁸⁴ Und immer sind sie zirkulär organisiert. Während aber das Gleichgewicht von Akkomodation und Assimilation als „intelligenter“ Umgang mit der Welt erscheint⁸⁵, arbeitet Piaget in seinem Buch „Nachahmung, Spiel und Traum“ reine Akkomodation und Assimilation als entgegengesetzte Pole heraus: Nachahmung auf der einen Seite, Spiel auf der anderen:

Wenn der Intelligenzakt ein Gleichgewicht zwischen Assimilation und Akkomodation erreicht, während die Imitation nur die Akkomodation fortführt, kann man umgekehrt sagen, daß das Spiel im wesentlichen Assimilation ist oder daß die Assimilation die Akkomodation hier überwiegt.⁸⁶

Spielen wäre demnach eine Aktivität, die sich ihre Umwelt unterwirft und zu eigen macht, statt sich ihr anzupassen.

Der Freiheitsbegriff, den eine solche Konzeption des Spielens impliziert, „gilt jedoch“, so Pias, „angesichts von Computerspielen nicht mehr.“⁸⁷ Denn bei *Pong* wird die „Akkomodation an den fremden Rhythmus des Spiels“⁸⁸ zur zentralen Eigenschaft des erfolgreichen Spielens. Computerspielen wird damit zum Gegenteil des Spielens nach Piaget, weil hier nicht länger die Umwelt assimiliert und dem Spiel einverleibt wird, sondern sich die Handlungen der Spielenden dem Spielgerät unterwerfen. Statt einer „Assimilation »aller Dinge an das Ich«“ geht es nun darum, „sich von einer anderen Instanz als dem eigenen Bewußtsein programmieren zu lassen, nämlich einer bewußtseinslosen Maschine namens PONG“⁸⁹. Damit „kehrt sich Piagets Pädagogik um“⁹⁰.

Was hier anklingt, ist eine Widersprüchlichkeit des Spielbegriffs selbst, denn spielen kann einerseits das unregelte, improvisierte Spiel meinen – etwa im kindlichen Spiel. Andererseits kann spielen extrem reglementiert und organisiert und dementsprechend wenig

83 Piaget, *Nachahmung, Spiel und Traum*. Gesammelte Werke 5, S. 112.

84 Ebd., S. 338–341.

85 Ebd., S. 114.

86 Ebd., S. 117.

87 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 85.

88 Ebd., S. 86.

89 Ebd.

90 Ebd., S. 87.

frei sein – wie zum Beispiel im Schachspiel. Etwa zur gleichen Zeit, in der Piaget an „Nachahmung, Spiel und Traum“ arbeitet, beschäftigt dieser Widerspruch auch Roger Caillois. Die Pole, zwischen denen der Begriff oszilliert, bezeichnet Caillois mit „*ludus*“ und „*paidia*“ – wobei *ludus* das Spiel nach Regeln und *paidia* das freie Spiel bezeichnet.⁹¹ Die Beschreibung der Gleichschaltung von Spiel und Spieler, die Pias vornimmt, gesteht dem Computerspielen in diesem Sinne nur eine *ludische* Komponente zu – womit Computerspielen zur reinen Anpassung an die Maschine wird.

Hinter dieser Form der Anpassung steht dabei eine Agenda, die aus den arbeitswissenschaftlichen Wurzeln des Dispositivs der Interaktion stammt. Sie verlangt eine „Akkommodation des Menschen an die Maschine unter der Prämisse der Rationalisierung und Steigerung der Arbeitsfähigkeit“⁹². Der Medienwissenschaftler Rolf Nohr untersucht diesen Prozess im Anschluss an Pias weiter und kommt zu dem Schluss, dass Computerspiele gleichermaßen eine „Normalisierung des Nutzers“ im Sinne dieser Prämisse vornehmen, wie eine Naturalisierung des Arbeitsgeräts Computer.⁹³ Sie erzeugen Strukturen der Selbstdisziplinierung und des Selbstmanagements und lösen damit die Versuche der Arbeitswissenschaften ab, die körperliche Bewegung zu rationalisieren. Statt dessen setzen sie auf die Verinnerlichung oder Verkörperung maschineller Rhythmizität.⁹⁴ Die Anpassung an die Maschine im Computerspielen würde zur „Disziplinierung“ als „Überführung von *paidia* in *ludus*“ und „Übergang vom »Herumspielen« zum zielorientierten, (arbeits-)ökonomischen Spielen“⁹⁵.

Die Akkommodation an den Spielrhythmus bei Pias wird so zur Grundbedingung von Immersion als „das Eintauchen oder »Eingetaucht-Werden« des Mediennutzers in das Medium.“⁹⁶ Anders als bei Laurel, für die Immersion mit einer *suspension of disbelief* bei der Interpretation symbolischer Darstellungen beginnt, wird Immersion hier zur Funktion der Kopplung von Spieler und Spiel – im Rhythmus der Maschine und auf der Ebene sensomotorischer Koordination. Die Immersion dient dabei der Naturalisierung des Computers im Sinne einer Gewöhnung, womit dessen Anforderungen als Anforderungen an einen selbst verinnerlicht werden. Dabei ist das Spiel „ein privilegierter Ort [...], um uns an das Arbeitsgerät zu akkomodieren und es zu naturalisieren“⁹⁷. Der *new human* im Zentrum des „App-

91 Roger Caillois. *Man, Play and Games*. Urbana und Chicago: University of Illinois Press, 2001 [1958], S. 27.

92 Rolf F. Nohr. »Rhythmusarbeit«. In: *Das Spiel mit dem Medium. Partizipation – Immersion – Interaktion*. Hrsg. von Britta Neitzel und Rolf F. Nohr. Marburg: Schüren Verlag, 2006, S. 223–243, S. 223.

93 Ebd., S. 223, 238.

94 Ebd., S. 236.

95 Ebd., S. 239.

96 Ebd., S. 223.

97 Ebd., S. 238.

lied Information-processing Project“ ist damit erneut charakterisiert: Es ist der Mensch nach erfolgreicher Akkomodation an die Maschine. Dabei gilt, dass die Akkomodation „erzeugt und formatiert, was der Mensch als User sei“⁹⁸, während dieser Mensch als User dabei „gerade von seiner unmenschlichsten Seite her entworfen ist“⁹⁹. Der „User“, den die Human-Computer Interaction von Newell bis Norman voraussetzt, und dem der Computer eines „User-Centered Design“ entgegen kommen kann, wird damit als der „unmenschliche“ User erkennbar, der sich ihm zuvor bereits ausreichend genähert hat.

Die *trading zone* der Interaktionsforschung würde sich demnach weniger mit menschlichen Human Factors, sondern vor allem mit den „Inhuman Factors“¹⁰⁰ einer Konditionierung durch Maschinen beschäftigen. Interaktion erzeugt dann, in den Worten Paul Virilios, ein „subtle enslavement of the human being“, als „total, unavowed disqualification of the human in favor of the definitive instrumental conditioning of the individual“¹⁰¹.

6.1.5 Verhalten und Kontrolle

1967 veröffentlicht der Künstler Roy Ascott mit „Behaviourist Art and the Cybernetic Vision“ einen Text, der sich auf den ersten Blick wie eine Vorwegnahme der Argumentation Daniels' und ihrer Gegenüberstellung von echter Partizipation und konditionierender Interaktion in den Künsten liest. Allerdings entsteht dieser Text zu einer Zeit, als die Kybernetik noch immer als Leitwissenschaft angesehen wird und auch für die Kunst noch immer als Verheißung von Erfolg funktioniert. Aufgrund dessen findet Ascotts Diskussion beinahe unter gegenteiligen Vorzeichen als bei Daniels statt: Die konditionierende Kunst einer „deterministischen Ästhetik“ steht bei Ascott für eine Kunst der Vormoderne, in der Künstler eine eindeutige Botschaft übermitteln wollten.¹⁰² Dem stellt Ascott die „behavioural tendency“ moderner Kunst gegenüber, kreatives Handeln als Teil des Rezeptionsprozesses zu verlangen. Während Ascott damit zwar genau das Prinzip der „Rezeption als Partizipation“ formuliert, das nach Daniels „ein Leitmotiv der Moderne“ darstellt, übernimmt Technologie hier gerade nicht die Rolle des konditionierenden Rahmens. Sie soll dagegen die deterministische Kunst überwinden helfen – ganz im Sinne einer Arbeit an den „Zielen der Ideologie mit Mitteln der Technologie“, die Daniels der späteren „interaktiven Medienkunst“ gegen-

⁹⁸ Pias, »Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse«, S. 315.

⁹⁹ Ebd.

¹⁰⁰ Anthony Dunne. *Hertzian tales. Electronic products, aesthetic experience, and critical design*. Cambridge, MA: MIT Press, 2008 [2005], S. 21.

¹⁰¹ Paul Virilio zitiert nach ebd.

¹⁰² Roy Ascott. »Behaviourist Art and the Cybernetic Vision«. In: *The New Media Reader*. Hrsg. von Noah Wardrip-Fruin und Nick Montfort. New York, NY und London: W. W. Norton & Company, 2001 [1967], S. 95–103, S. 97.

überstellt, die hier aber durch genau die Maschinen dieser Medienkunst ermöglicht werden soll. Dies wird besonders deutlich, wenn Ascott das behauptete Freiheitspotential einer kybernetischen Kunst als Spiel illustriert:

This situation, in which the artwork exists in a perpetual state of transition where the effort to establish a final resolution must come from the observer, may be seen in the context of games. We can say that in the past the artist played to win, and so set the conditions that he always dominated the play. The spectator was positioned to lose, in the sense that his moves were predetermined and he could form no strategy of his own. Nowadays we are moving toward a situation in which the game is never won but remains perpetually in a state of play.¹⁰³

Wenige Monate vor *ping pong* wird hier also eine Position formuliert, die technologischer Entwicklung in den Künsten so sehr affirmativ gegenüber steht, dass hier das selbe Vokabular von Spiel, Sieg und Niederlage, determinierten Pfaden und dem Künstler, der die Regeln diktiert, das bei EXPORT und Cramer zum Einsatz kommt, Teil einer gegenteiligen Argumentation ist. „Behaviour“ ist hier gerade nicht Ausdruck eines totalitären Behaviorismus, sondern Ausdruck einer partizipativen Ästhetik der Unvollendung.¹⁰⁴

Der Unterschied mag vor allem darin begründet sein, dass sich die Kritik an einer „interaktiven Medienkunst“ vor allem als Reaktion auf konkrete Formate entwickelt, die sich wie *Legible City* vielleicht mit gutem Grund als künstlerische Dummheiten bezeichnen lassen, und denen tatsächlich immer wieder unreflektiert euphorisch begegnet wird. Ein weiterer Unterschied zwischen Ascotts euphorischer Beschreibung einer „behavioural tendency“ und späteren Kritiken an behavioristischer Kunst liegt aber auch in der Tatsache begründet, dass Ascott der abzulehnenden „Deterministic Vision“ die behavioristische Kunst ausdrücklich als „Cybernetic Vision“ entgegen stellt.¹⁰⁵ Und für eine solche gilt: „The participational, inclusive form of art has as its basic principle »feedback,« and it is this loop which makes of the triad artist/artwork/observer an integral whole.“¹⁰⁶

Dank des Feedbacks, das mit der Feedbackmaschine im Herzen des Dispositivs der Interaktion steht, kann behavioristische Kunst also Befreiung oder Unterwerfung sein – das unregelte Spiel im Sinne von

¹⁰³ Ebd., S. 98.

¹⁰⁴ Zur Ästhetik der Unvollendung vergleiche Frieder Nake. »Unvollendung. Eine Erinnerung an ein kybernetisches Modell des Kunstprozesses«. In: *Ordnung und Kontingenz. Das kybernetische Modell in den Künsten*. Hrsg. von Hans Esselborn. Würzburg: Königshausen & Neumann, 2009, sowie Nake, »Zeigen, Zeichnen und Zeichen. Der verschwundene Lichtgriffel«, S. 103.

¹⁰⁵ Ascott, »Behaviourist Art and the Cybernetic Vision«, S. 100.

¹⁰⁶ Ebd., S. 98.

paidia oder das *ludische* Spiel nach den Regeln eines Anderen. Dies hängt schlicht und einfach damit zusammen, dass Feedback eben zirkuläre Kausalität impliziert – mit allen Problemen, die das für die Frage der *agency* bedeutet, aber auch mit der Konsequenz, dass man hier nicht länger von einseitiger Verursachung sprechen kann.

Denn so geschickt das Beispiel der behavioristisch zu *devices* programmierten Tauben bei Pias auch gewählt ist, so sehr greift der Behaviorismus nach Skinner als Modell der Mensch-Computer-Interaktion doch zu kurz. Man sollte also nicht den Fehler machen, die Argumentation bei Pias oder Nohr im Sinne einer einseitigen Programmierung zu verstehen, bei der frei nach Cramer die Maschine gewinnt, weil sie vom Spieler nicht umprogrammiert werden kann. Wenn Pias den Menschen am Computer als dessen *device* oder Peripheriegerät rekonstruiert, ist dies auch in Abgrenzung zu einer „anthropologischen Theorie des Spielens“ zu lesen, die das Spiel dem Menschen zuschlägt.¹⁰⁷ Die Problematik zirkulärer Kausalität aber ist bei beiden, zumindest als Subtext, durchaus vorhanden. Sie wird vielleicht am deutlichsten, wenn Pias davon spricht, dem anthropologischen Blick auf das Spielen einen „Blick [...] auf all die seltsamen Dinge, Gerätschaften, Quasi-Objekte, Symboliken, Körper oder Institutionen“¹⁰⁸ an die Seite zu stellen, und sich dabei zwar weniger auf den hier anklingenden Dispositivbegriff Foucaults beruft, dafür aber auf den Maschinenbegriff Deleuzes, der daran anschließt.

So markieren Computerspiele bei Pias den Übergang der „Disziplinargesellschaft“ nach Foucault zur „Kontrollgesellschaft“ nach Deleuze¹⁰⁹. Während erstere eine Gesellschaftsform „geschlossener Milieus“ (wie „Gefängnis, Krankenhaus, Fabrik, Schule, Familie“) darstellt, die als „Gußform“ die Subjektivierung ihrer Mitglieder umschließt und determiniert, übt die Kontrollgesellschaft ihre Macht dynamischer aus: „[D]ie Kontrollen“, schreibt Deleuze, „jedoch sind eine Modulation, sie gleichen einer sich selbst verformenden Gußform“. Der Kontrollbegriff, den Deleuze hier benutzt, scheint also durchaus im Sinne der Regelungstechnik gemeint: als eine Form der Kontrolle, die nicht starr umschließt, sondern sich permanent im Sinne der Differenz von Ist und Soll anpasst und deren Wirkung Selbstkorrektur heißt. Der Übergang von der Disziplinar- zur Kontrollgesellschaft ist damit tatsächlich, wie Pias bemerkt, „technisch auf die Begründung der Kybernetik zu datieren“¹¹⁰.

Insbesondere der Verweis auf die Kontrollgesellschaft nach Deleuze und deren kybernetische Verfasstheit bezieht sich auf die Kontrolle innerhalb selbstkorrigierender Systeme. Und gerade das Lesen von Interaktion als Internalisierung der Anforderungen, die Computer

107 Pias, »Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse«, S. 314.

108 Ebd., S. 315.

109 Zum Folgenden vergleiche Gilles Deleuze. »Postskriptum über die Kontrollgesellschaften«. In: *L'autre Journal* 1 (1990).

110 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 42.

stellen, um benutzbar zu sein, muss nicht als simple Kontrolle des einen durch das andere verstanden werden.

Wenn Pias aber festhält, dass sowohl die Ausbildung der *operator* des SAGE, *Pong* spielen und Computer bedienen Menschen gleichermaßen zu *devices* macht¹¹¹, verkürzt er das Problem der nicht lokalisierbaren Ursachen zirkulärer Kausalität auf die determinierte Kopplung von Stimulus und Reaktion des Behaviorismus und setzt damit, wie später Cramer, kybernetische Rückkopplung und die Reiz-Reaktions-Schemata des Behaviorismus gleich. Zwar ist die Linie von Skinners Tauben über die *operator* an den Bildschirmen des SAGE bis hin zu den Computerspielern und -nutzern unserer Zeit ein wichtiger Teil des Dispositivs der Interaktion, es ist aber nicht so, dass sich Kybernetik und Behaviorismus bei vergleichbarem Programm einfach „verpasst“ hätten¹¹². Die Definition des kybernetischen Forschungsprogramms als „behavioristic study of natural events“ setzt sich von Anfang an deutlich von Skinners Arbeit ab, weil sie aus einem naturwissenschaftlichen Anspruch heraus die rückgekoppelten Folgen des Outputs eines Systems für dessen Input zu ihrem zentralen epistemischen Ding erklärt. Damit versucht die Kybernetik, anders als der Behaviorismus, Verhalten über die „intrinsischen“ Verhältnismäßigkeiten von In- und Output naturwissenschaftlich zu fassen. Wiener schreibt 1940 in einem Brief an einen Freund: „Behaviorism as we all know is an established method of biological and psychological study but I have nowhere seen an adequate attempt to analyze the intrinsic possibilities of types of behavior“¹¹³. Mit diesem Verweis auf die intrinsischen Verhältnismäßigkeiten von Verhalten werden In- und Output, Wahrnehmung und Handlung oder Sensorik und Motorik so stark aufeinander bezogen, dass sie sich nicht länger scharf trennen lassen. Der Neobehaviorismus nach Skinner programmiert dagegen spontanes Verhalten zu gewünschten Reiz-Reaktions-Mustern, indem bestimmtes Verhalten bei Anwesenheit entsprechender Stimuli belohnt oder bestraft wird. Wiener, für den der Zusammenhang von In- und Output – und nur der – als Zentrum seiner „behavioristic study“ wichtig ist, wird in dem Brief daher weiter schreiben: „no behaviorist had ever really understood behavior“. Denn obwohl sowohl Behaviorismus als auch Kybernetik an Ein- und Ausgabe interessiert sind, ist Feedback der entscheidende Unterschied beider Ansätze: „What prevents it [Cybernetics] from being reduced to simple behaviorism, however, to a crude stimulus-response scheme, is precisely the notion of feedback.“¹¹⁴

Bei der Konditionierung durch und der Assimilation an den Computer geht es also nicht nur um eine Abrichtung im Sinne der Ef-

111 Ebd., S. 59.

112 Wie es bei Pias heißt, ebd., S. 50.

113 Zitiert nach Segal, »The Pigeon and the Predictor. Miscarriage of a Cyborg in spite of foundations' support«, Hervorhebung von mir.

114 Dupuy, *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*, S. 46.

fizienz der Arbeitswissenschaft – auch wenn diese Komponente bis heute eine wichtige Rolle spielt –, sondern auch und in erster Linie um die im Zusammenhang mit *Whirlwind* erstmals aufgeworfene Frage von Sichtbarkeit und Kommensurabilität.

Wenn am Beispiel von *Whirlwind* gezeigt wurde, „Digitalrechner sind völlig inkommensurabel für menschliche Sinne“¹¹⁵, muss einerseits der Computer (wie bei Norman) für seine Bedienung „vermenschlicht“ werden, andererseits muss der Mensch „notwendigerweise »maschinenförmig«“ werden¹¹⁶. Und so wundert es nicht, dass bei Pias genau hier der Maschinenbegriff Deleuzes als passenderes Modell für die Interaktion von Mensch und Computer auftaucht als der Behaviorismus: „Ich würde also [...] einen Deleuzianischen Maschinenbegriff ansetzen, der zu beschreiben vermag, wie Maschinen dadurch gebildet werden, daß verschiedenste heterogene Dinge (Menschen, Bilder, Töne, Computer usw.) durch Rekursion und Kommunikation vernetzt und funktionsfähig und dabei zu Maschinenteilen werden.“¹¹⁷ Diese „Maschine“ ist dann nicht länger die klar eingrenzbar Feedbackmaschine unterbrechbaren Rechnens und symbolischer Darstellung. Sie betrifft das Gesamtsystem aus Rechner und User, Spieler oder Rezipient in ihrer zirkulären Verschaltung.

Was im Computerspielen gelernt, normalisiert und naturalisiert wird, wären dann die Gesten und Wahrnehmungskonventionen, die das Benutzen von Computern erst ermöglichen. Wenn, wie im Kapitel 4 diskutiert, die Darstellungen an der Oberfläche eines Rechenprozesses grundsätzlich symbolischer Natur sind und darüber hinaus konventionalisiert werden müssen um lesbar zu sein, zeigt sich hier, dass diese Konventionalisierung immer auch die Wahrnehmung und Aktivitäten des Menschen einbezieht. Die Konkretion des Rechnens verlangt demnach das normalisierte Handeln seiner Benutzer. Wenn der digitale Computer während der Entwicklung von *Whirlwind* noch zu neu war, um gesehen und benutzt werden zu können, sind es die hier als Konditionierung, Akkomodation oder Gehirnwäsche beschriebenen Entwicklungen, die ihm den neuen Menschen an die Seite stellen, den er benötigt. Die Interaktion mit intuitiven Schnittstellen, welcher Ära der Interaktionstechnologie auch immer, kann also nur als natürlich beschrieben werden, weil diese Schnittstellen zunächst im Sinne solch einer Akkomodation naturalisiert und ihre Benutzer normalisiert worden sind. Damit erklärt sich nicht nur, warum die Natürlichkeit oder Direktheit von Interaktion zeitabhängig ist und warum die angewandte Informationsverarbeitung nach Newell auf einen neuen Menschen setzen kann. Wie noch zu zeigen ist, erklärt sich so auch, wie die sensomotorischen Kopplungen, die im atavistischen Programm direkter Manipulation und greifbarer In-

¹¹⁵ Pias, »Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse«, S. 338.

¹¹⁶ Ebd.

¹¹⁷ Ebd.

teraktion eine so wichtige Rolle spielen, Grundlage der Gegenstände werden können, mit denen interagiert wird.

Denn Kommensurabilität ist keineswegs schon erreicht, sobald der Computer „auf den langsamsten Systembestandteil Rücksicht nehmen konnte“¹¹⁸. Und Sichtbarkeit erschöpft sich nicht im (Er-)Finden verständlicher Metaphern und „System Images“ oder gar im bloßen Organisieren von Licht zu Symbolen. Die Vermenschlichung des Rechners wäre dann nicht alleine gestalterischer Akt und die Maschinisierung des Menschen bestünde nicht alleine in seiner Anpassung an den Systemtakt, sondern beide würden sich gegenseitig hervorbringen. Ein erneuter Blick auf die Symbole an der Oberfläche von Feedbackmaschinen wird in diesem Sinne darauf hindeuten, dass sich die Sichtbarkeit von Objekten auf dem Bildschirm und Kommensurabilität unter einem gemeinsamen Systemtakt gegenseitig bedingen und ein „prekäres Verhältnis *wechselseitiger Kontrolle*“¹¹⁹ gerade ihre Voraussetzung sein könnte.

6.2 VON WELCHER WELT IST HIER DIE REDE?

6.2.1 Abgegrenzte Brocken

Das nicht ganz unproblematische Argument von der Algorithmisierung des in einer High-Tech-Folterkammer gehirngewaschenen oder von einer bewusstseinslosen Maschine programmierten menschlichen Spielers bringt Manovich ein weiteres Mal auf den Punkt, wenn er schreibt:

Often the narrative shell of a game (»you are the specially trained commando who has just landed on a Lunar base; your task is to make your way to the headquarters occupied by the mutant base personnel...«) masks a simple algorithm well-familiar to the player – kill all the enemies on the current level, while collecting all treasures it contains; go to the next level and so on until you reach the last level.¹²⁰

Computerspielen heißt demnach, einen Algorithmus auszuführen.

Die Programmierung durch Interaktion ist, wie gesehen, aus Manovichs Sicht Folge davon, dass diese Interaktion dem freien psychischen „filling in“ ein physisches Eingreifen im Rahmen vorherbestimmter Möglichkeiten vorzieht. Hier wird wieder einmal deutlich, wie der Begriff der Interaktion meist in doppelter Bedeutung auftritt: als technisches Kriterium der Interaktivität, das nie eindeutig von einem soziologisch-kommunikativen Interaktionsbegriff zu trennen ist.

¹¹⁸ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 57.

¹¹⁹ Cramer, *Exe.cut(up)able statements. Poetische Kalküle und Phantasmen des selbstaushaltenden Texts*, S. 242.

¹²⁰ Manovich, *The Language of New Media*, S. 222.

Wenn die interaktive Medienkunst Interaktion „wörtlich“ versteht, „indem sie diese auf Kosten der psychischen Interaktion mit einer rein physikalischen Interaktion zwischen einem Benutzer und einem Kunstwerk [...] gleichsetzt“¹²¹, steht hinter dieser Formulierung wieder die Tatsache, dass der Umgang mit algorithmischen Zeichen quasi-kommunikative Aspekte aufweist, der Signalaspekt des algorithmischen Zeichens aber eben kein freies „filling in“ vorsieht und daher nur anbietet, was vorab determiniert ist.

Anders nämlich als die Closed-Circuit-Kunst ist die interaktive Medienkunst ein Abarbeiten an der Feedbackmaschine und dem daran gekoppelten Dispositiv der Interaktion, das in der Closed-Circuit-Kunst lediglich antizipiert wird. Und dieses besteht, wie oben gesehen, nicht nur aus einem kybernetischen Erbe, sondern auch aus der Tradition der symbolischen Maschine und der Zweiseitigkeit des algorithmischen Zeichens. In *Legible City* wird somit schlicht und einfach das Neue der interaktiven Kunst auf naheliegendste Weise illustriert: Ihre Textkitschwelten bilden eine symbolische Realität im Sinne Krämers, in der die Symbole digitalen Rechnens extrasymbolisch (als Text und/oder virtueller Raum) gedeutet werden. Nicht umsonst bestehen sie eben aus Buchstaben und damit den wohl eindeutigsten Vertretern symbolischer Zeichen.

Einer weiteren Bedeutung des Symbolbegriffs folgend, verhandelt Manovich die algorithmische Natur des Computerspiels im Rahmen einer Diskussion von Datenbanken als „symbolische Form“¹²². Der Begriff der symbolischen Form schließt hier an Ervin Panofsky an, bei dem er kulturelle Formen bezeichnet, die nicht nur die Darstellungskonventionen einer Zeit dominieren, sondern auch das abstrakte Denken insgesamt. Für Panofsky ist die zentralperspektivische Darstellung die symbolische Form der Moderne gewesen. Für Manovich sind Datenbanken die symbolische Form der computerisierten Postmoderne¹²³. Er erklärt damit Speicherung und Abruf von Datensätzen zum dominanten Modus der Wahrnehmung der Welt als „an endless and unstructured collection of images, texts, and other data records“¹²⁴. Da aber, wie am Beispiel des Abarbeitens der Aufgaben eines Computerspiels gesehen, diese Datensätze in irgendeiner organisierten Form konsumiert werden, stellt Manovich dem Prinzip Datenbank ein Organisationsprinzip an die Seite, das die Bestimmung der zeitlichen Organisation von (Rechen-)Prozessen zum Kern hat: Algorithmen strukturieren das Wann und Wie des Abrufs aus der Datenbank auf eben den vorgefertigten Pfaden, die hier schon so oft genannt worden sind. Das Universum der neuen Medien spannt sich

121 Manovich, »Über die totalitäre Interaktivität«.

122 Vergleiche hierzu Manovich, *The Language of New Media*, S. 254.

123 Ein Begriff, den Manovich in enger Anlehnung an seine ursprüngliche Definition durch Jean-François Lyotard als Zustand einer „computerisierten Gesellschaft“ benutzt. Vergleiche ebd., S. 219.

124 Ebd.

damit zwischen den Polen Datenbank und Algorithmus: „Together, data structures and algorithms are two halves of the ontology of the world according to a computer.“¹²⁵

Das ist so weit sehr richtig. Wenn Interaktion bei Manovich das Traversieren einer Datenbank anhand vorherbestimmter Pfade bedeutet, so gilt diese Beschreibung für die Unterfläche des Interagierens mit Sicherheit. Auch bei Pias lässt sich nachlesen, wie sehr die Spielwelt eines Computerspiels Wittgensteins Diktum „die Welt ist alles, was der Fall ist“ wörtlich nimmt, weil hier nur Objekt ist, was als solches im Datensatz des Spiels vorkommt und nur getan werden kann, was zuvor als möglicher Spielfortschritt definiert wurde.¹²⁶ Der Bezug zu Wittgenstein erlaubt es Pias an dieser Stelle zusätzlich (in einer „frivole[n] Mischung aus frühem und spätem Wittgenstein“¹²⁷), dessen Konzept des Sprachspiels auf das Adventure-Genre anzuwenden, um wieder im Sinne einer Normalisierung des Computerbenutzers argumentieren zu können.¹²⁸ In Anschluss an Lyotard (der sich ebenfalls auf den Sprachspielbegriff bei Wittgenstein bezieht) argumentiert er, dass Spielen hier zur erfolgreichen Teilnahme an einem Sprachspiel wird, dessen mögliche Sprechakte in Programm und Daten „vorgeschrieben“ sind und das daher zur Vermittlung eines „recyclebaren Benutzerwissens“ führt: „am Ende des Adventure-Spiels“ steht damit „jemand, der eine parsergerechte Sprache spricht“.

Andererseits ist die Aufteilung der Informatik in Algorithmen und Datenstrukturen aus Sicht der Disziplin eine technische Selbstverständlichkeit, die in das erste Semester eines Informatikstudiums gehört. Und so sehr Manovich und Pias recht damit haben, dass an der Unterfläche einer Feedbackmaschine nur der Fall sein kann, was vorgesehen ist, stellt sich die Frage nach den Sachverhalten an ihrer Oberfläche vielleicht etwas komplizierter dar. Denn zwar ist der Illusionscharakter von Schnittstellen zwingende Folge der Verwendung symbolischer Repräsentationen digitalen Rechnens, warum aber diese Symbole als genau das (und nicht mehr oder weniger) wahrgenommen werden sollten, als das sie im Programmcode definiert wurden, ist alles andere als klar. Dies folgt zwar bereits aus der Tatsache, dass Schnittstellen in der Konkretion und Rekontextualisierung abstrakten Rechnens die „Rechenergebnisse mit Mehrdeutigkeiten und Unschärfen“ aufladen¹²⁹, das Problem geht aber noch tiefer.

Ein kurzer (und mit Sicherheit in seiner Oberflächlichkeit ebenfalls frivoler) Blick auf den Beginn der Passage des „Tractatus logico-philosophicus“, die Pias zu Beginn seiner Argumentation zitiert, mag helfen, dies zu verdeutlichen. Denn hier heißt es:

¹²⁵ Ebd., S. 223.

¹²⁶ Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 107.

¹²⁷ Ebd.

¹²⁸ Zum Folgenden vergleiche weiter ebd., S. 107-110.

¹²⁹ Trogemann, »Code und Material«, S. 20.

1 Die Welt ist alles, was der Fall ist.

1.1 Die Welt ist die Gesamtheit der Tatsachen, nicht der Dinge.¹³⁰

Der Philosoph Joachim Schulte erläutert diesen Beginn des Werks unter der schlichten Überschrift „Welt“ mit den Worten:

Von welcher Welt ist hier die Rede? Wer sich umsieht und Schreibtisch, Bleistift, Stühle, Blumen und draußen Bäume, Menschen und Autos erblickt, wird vielleicht einwenden: Das, was er da sehe, sei doch wohl ein Stück der – wirklichen – Welt, und dieses Stück der Welt bestehe offenbar aus den aufgezählten Dingen. [...] Doch bei diesem Einwand stützt man sich auf eine gewissermaßen atomistische Wahrnehmungstheorie, die implizit voraussetzt, daß die Welt aus großen und kleinen, jedenfalls klar abgegrenzten Brocken besteht. Mag sein, daß wir diese Voraussetzung ganz wie von selbst und unreflektiert machen. Das heißt aber nicht, daß sie zutrifft.¹³¹

Wenn die Objekte und Datenstrukturen an der Unterfläche des Rechnens für die Oberfläche einer Feedbackmaschine semantisiert werden, wenn also nach Pias' Diskussion des Adventure-Genres Variablen zu Orten, Gegenständen und Verfahren werden¹³², bei Manovich Daten als Bilder oder Text erscheinen und bereits bei Pong die patentierte Reaktivität vorprogrammierter Bewegung auf menschliches Handeln durch das buchstäblich dazwischengeschobene Interface des Bildschirm-Overlays zu Tischtennis oder Eishockey wird, dann stellt sich die Frage, wieso man auch hier voraussetzen sollte, die Spielwelten der Computerspiele oder die Modellwelten direkter Manipulation bestünden „aus großen und kleinen, jedenfalls klar abgegrenzten Brocken“. Woher nimmt Manovich die Sicherheit, dass das, was sich für das Verhältnis von Datenbank und Algorithmus sagen lässt, auch für deren Oberflächen gilt? Was sind die Objekte der Interaktion, die als Bilder, Text oder andere Zeichen vorausgesetzt werden?

Manovichs Beispiel eines „Algorithmus“ für ein Computerspiel beginnt mit der Anweisung: „kill all the enemies on the current level, while collecting all treasures it contains“. Er besteht damit keineswegs aus den elementaren Operationen einer symbolischen Maschine, die seine Algorithmizität belegen könnte – und ist also nur metaphorisch als Algorithmus zu verstehen. Vor allem aber ist alles andere als klar, auf welchen Daten er operiert. Was genau ist unter „all the enemies“ und „treasures“ zu verstehen, wenn man nicht im Stile eines

130 Ludwig Wittgenstein. *Logisch-philosophische Abhandlung. Tractatus logico-philosophicus*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2003 [1922], S. 9.

131 Joachim Schulte. *Wittgenstein. Eine Einführung*. Stuttgart: Reclam, 1989, S. 67-68.

132 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 92.

einfachen Kognitivismus voraussetzt, dass alles, was technisch definiert wurde, nach seiner Wahrnehmung als Information auch kognitiv (oder mental) repräsentiert ist und verarbeitet wird? Insbesondere die Rede von „images, texts, and other data records“¹³³ macht klar, dass Manovich die Zeichenaspekte des algorithmischen Zeichens (also „images, texts“) mit dessen Signalaspekt (als „data record“) identifiziert.

Diese Gleichsetzung bildet ein zentrales und relativ stabiles Element in der *trading zone* der Interaktionsforschung während ihrer gesamten Koevolution mit dem Feld der Kognitionswissenschaft. Bereits Newell setzt die *blips* der Trainingsumgebung in allen ihren drei Ausprägungen gleich: Erstens als technische Symbole in der Berechnung ihrer simulierten Bewegung. Zweitens als symbolische Darstellungen auf Papier, als die sie in das Trainingssystem Eingang finden. Und drittens – und das ist hier entscheidend – geht Newell implizit davon aus, dass diese symbolischen Darstellungen auch so wie sie von der Unter- an die Oberfläche übersetzt wurden, durch ihre Wahrnehmung an die „Unterfläche“ des Denkens gelangen, um hier als Informationen verarbeitet zu werden. Diese Idee bildet die unausgesprochene Voraussetzung einer „angewandten Informationsverarbeitung“.

Die Frage aber, wie die Objekte (oder Dinge) zu ihrer Bedeutung in einem Handlungskontext und letztlich sogar zu ihrer Existenz als von ihrer Umwelt abgegrenzte „Brocken“ kommen, ist mehr als die Frage nach der Erzeugung der Interpretanten der symbolischen Darstellungen auf den Bildschirmen des SAGE. Es ist die Frage nach der Erzeugung dessen, was hier interpretiert wird. Denn wieso werden die Buttons, von denen Manovich spricht, als solche wahrgenommen, wo es sich doch lediglich um Darstellungen von Buttons handelt – die einem Knopf oder einer Taste oftmals nicht einmal im ikonischen Sinne ähnlich sehen? Und wieso geht Shneiderman so selbstverständlich davon aus, dass man bei *Pong* durch das Drehen eines Rades einen virtuellen Schläger direkt kontrollieren kann, obwohl hier doch zwischen Drehregler und Lichterscheinung nicht nur eine räumliche Distanz liegt, sondern auch nicht klar ist, wieso der virtuelle Schläger als solcher überhaupt anders wahrgenommen wird als etwa der Ball? Die Frage nach den Gegenständen der Interaktion wird so letztlich zu einer Frage der Gestaltwahrnehmung – und der Erzeugung der Objekte (oder Dinge) als Tatsachen. Weitere Indizien hierfür soll ein künstlerisches Experiment liefern.

133 Manovich, *The Language of New Media*, S. 219.

6.2.2 *Paidia Laboratory: feedback*

Die klassische Regelungstechnik unterscheidet zwischen *manual* und *automatic control*¹³⁴ und ist, wie gesehen, von dem Versuch gekennzeichnet, die *operator* manueller Regelung zu automatisieren – ein Prozess, der eine Zeit lang auch als „Cybernation“ bezeichnet wird¹³⁵. Auch im Regelkreis der Closed-Circuit-Kunst ist der zwischen Ein- und Ausgabegerät geklammerte Betrachter entbehrlich: „Die notwendigen und hinreichenden Elemente für eine CC-Videoinstallation“ können bereits von einem „Fernseher und einer auf ihn gerichteten, eingeschalteten CC-Videokamera“ erfüllt sein¹³⁶. Nicht zuletzt weil die Laborsituation künstlerischer Arbeit mit Video ganz automatisch eine *feedback culture* impliziert, in der ein zufälliges Ausrichten der Kamera auf den Monitor zum Alltag gehört, entstehen so auch künstlerische Arbeiten, deren Klammer leer bleibt.

Dieter Kiessling etwa reduziert 1982 die technischen Komponenten einer Closed-Circuit-Installation auf ihr Minimum aus Fernseher und Kamera.¹³⁷ Die Installation *Raster* zeigt auf der Mattscheibe eines Farbfernsehers die extrem vergrößerte Darstellung der R-, G-, und B-Komponenten seines Bildrasters, das die Kamera von eben dieser Darstellung abfilmt. Während sich das Feedbackverhalten dieser Installation, sobald die Kamera einen initialen Lichtimpuls aufnimmt und auf dem Fernseher, den sie filmt, zur Darstellung bringt, schließlich auf der konstanten Abbildung dieses Rasters stabilisieren wird, arbeitet Kiessling in den folgenden Jahren auch mit weitaus weniger stabilen Systemen. Durch die Verdopplung von Kamera und Monitor gelangt er schließlich zu einem reduzierten „Kameradialog“¹³⁸, der die Form eines sich ständig verändernden Wechselspiels annimmt: In *Two Cameras* (1998) sind zwei Kameras so aufeinander gerichtet, dass sie jeweils das Objektiv der anderen filmen. Da der Abstand zwischen beiden Geräten gering ist, korrigiert der Autofokus jeder Kamera ständig ihren Schärfebereich – um durch diese Bewegung das Fokussieren der jeweils anderen weiter zu erschweren. Zwei Monitore zeigen die Bilder der Kameras, wobei sich Größe und Schärfe beider Videobilder ständig verändern. Die sich so entfaltende Dynamik ist dabei Folge der Verschaltung beider Kameras über ihre Autofokussfunktion zu einer Feedbackschleife. Und wie der böse Geist des Fliegens erscheint auch ihr Verhalten in seiner Komplexität und gleichzeitigen Zielgerichtetheit zumindest begrenzt anthropomorph¹³⁹.

¹³⁴ Macmillan, *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*, S. 6.

¹³⁵ Erkki Huhtamo. »From Cybernation to Interaction: A Contribution to an Archeology of Interactivity«. In: *The Digital Dialectic: New Essays on New Media*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000, S. 96–111.

¹³⁶ Kacunko, *Closed Circuit Videoinstallationen*, S. 488.

¹³⁷ Ebd.

¹³⁸ Ebd., S. 691.

¹³⁹ Ebd.



Abbildung 24: Paidia Laboratory: feedback #5 (Foto: Paidia Institute).

Für die Interaktion der Informatik stellt sich analog zum Vorgehen Kiesslings die Frage, was passiert, wenn man den menschlichen User aus der Klammer zwischen dem In- und Output einer Feedbackmaschine entfernt. Aus der Beschreibung des Computerspielers als des Menschen, der von seiner unmenschlichsten Seite her entworfen wurde, folgt schon bei Pias, „daß Computerspiele auch ganz gut ohne Menschen auskommen.“¹⁴⁰ Wie aber funktioniert ein Computerspiel ohne Spieler?

Diese Frage untersucht der Werkzyklus „Paidia Laboratory: feedback“ (2011) des *Paidia Institute*¹⁴¹. Der Zyklus ist bewusst als laborartige Auseinandersetzung mit den Rückkopplungseigenschaften von Computerspielen angelegt und entsteht ab 2011 als Folge der Konfrontation der vorläufigen Ergebnisse dieser Dissertation mit der künstlerischen Arbeit von Jonas Hansen, Thomas Hawranke und Karin Lingnau.¹⁴² Die entstehenden Experimente untersuchen das Computerspielen ohne Spieler und reichen von Arbeiten in der Tradition der Automatisierung manueller Aktivität hin zu ähnlich minimalen Reduktionen wie in den Arbeiten Kiesslings. All diese Experimente arbeiten mit kommerziell verfügbaren Computerspielen (oder ihrer Hardware) und modifizieren lediglich das jeweilige Verhältnis von In- und Output.

Das Experiment „feedback #5“ (Abbildung 24) automatisiert so die (rhythmische) Aktivität des Tastendrucks für einen virtuellen Hürdenlauf¹⁴³ durch den maschinellen Rhythmus einer robotischen Hand, die über einen Helligkeitssensor auf die symbolisch dargestell-

¹⁴⁰ Pias, »Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse«, S. 315.

¹⁴¹ Eine Institution, die sowohl organisatorische Einheit (Verein) und Künstlergruppe ist, und die sich der künstlerischen Auseinandersetzung mit dem Computerspielen und anderen spielerischen Formaten verschrieben hat. <http://www.paidia-institute.org>, zuletzt abgerufen am 24.08.2014.

¹⁴² Die Dokumentation des Projektes findet sich auf: <http://paidia-institute.org/laboratory/feedback/>, vergleiche auch die Ausstellungskataloge Bernhard Serexhe und Stephan Schwingeler. *ZKM_Gameplay*. Ausstellungskatalog. Karlsruhe, 2013; Sabine Adler. *CHAOS. Komplexität in Kunst und Wissenschaft*. Ausstellungskatalog. München, 2012; Jonas Hansen u. a., Hrsg. *Computerspielen. Perspectives of Play*. Köln: Verlag der Kunsthochschule für Medien Köln, 2014.

¹⁴³ Das Spiel „Decathlon“ der Firma Activision (1983).

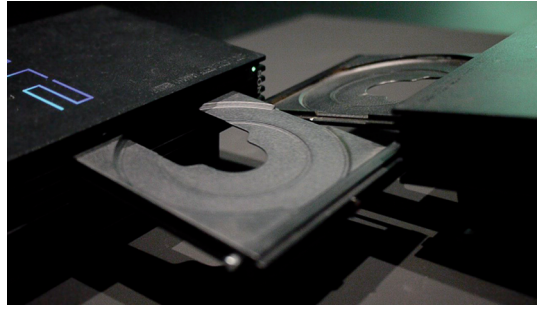


Abbildung 25: Paidia Laboratory: feedback #6 (Foto: Paidia Institute).

ten Hürden auf einem Bildschirm reagiert. Und „feedback #6“ wiederholt den Kameradialog von „Two Cameras“ als Verschaltung zweier „Playstation 2“-Spielkonsolen (Abbildung 25). Die Geräte sind so aufgestellt, dass der CD-Schlitten des jeweils einen beim Öffnen den Eject-Button des jeweils anderen drückt. Eine mechanische Manipulation an jedem Schlitten verhindert dabei, dass er sich schließen kann – was auch hier eine dynamische und unvorhersehbare Folge von Bewegungen erzeugt, die genau so anthropomorph wie zwanghaft wirkt.

Die Arbeiten „feedback #1“, „#2“ und „#3“ schließlich entfernen ganz schlicht den Spieler aus der Klammer des Computerspielens, um die Spiele sich selbst spielen zu lassen. Dies geschieht auf Ebene des haptischen, auditorischen und visuellen In- und Outputs kommerzieller Spiele für die „Playstation 2“.

„feedback #1“ nutzt das Force-Feedback von Computerspielen, das als haptischer Output des Spiels dessen Controller zum Vibrieren bringt. Im Spiel „Virtua Fighter“ (2002), in dem sich zwei gegenüberstehende Spielfiguren gegenseitig verprügeln müssen, zeigt das Vibrieren eines Controllers das Getroffen-Werden der entsprechenden Figur an. Ein Umbau der Controller, bei dem der Elektromotor, der diese Vibration erzeugt, mit dem Schalter in Kontakt gebracht wird, der einen Schlag auslöst, sorgt nun dafür, dass jede Figur, sobald sie von der anderen getroffen wird, ihrerseits zuschlägt (Abbildung 26). Einmal angestoßen, tauschen beide Figuren so gegenseitig Schläge aus, bis eine von beiden zu Boden geht – wobei mechanische Verzögerungen und Ungenauigkeiten dafür sorgen, dass der Sieger in dieser Feedbackschleife bei jedem Durchgang aufs Neue bestimmt wird.

In „feedback #2“ werden die Mikrophone des Karaoke-spiels „Singstar: The Dome“ (2005) auf dessen Lautsprecher gerichtet (Abbildung 27). Da das Spiel die gewünschte Handlung des Spielers als Lied, das es mitzusingen gilt, vorgibt und anschließend dessen Performanz (im Sinne digitaler Signalverarbeitung und nicht etwa im Sinne einer darstellerischen „Performance“) an Hand einer Analyse der aufgenommenen Tonhöhen bewertet, bewertet es nun seine eigene Performanz. Diese wird zwar vom (bekanntermaßen katastrophischen) positiven

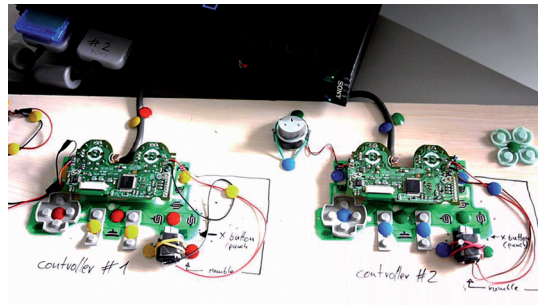


Abbildung 26: Paidia Laboratory: feedback #1 (Foto: Paidia Institute).



Abbildung 27: Paidia Laboratory: feedback #2 (Foto: Paidia Institute).

Feedback in der Schleife aus Aufnahme und sofortiger Wiedergabe und den Umgebungsgeräuschen im Ausstellungskontext getrübt, bekommt aber immer noch Punkte und hin und wieder sogar einen „Phrasenbonus“.

Nach Bewegung und Ton nutzt „feedback #3“ schließlich visuellen In- und Output eines Computerspiels und steht so in technischer Hinsicht den meisten Closed-Circuit-Installationen am nächsten (Abbildung 28). Das Spiel „Wishi Washi“ (2003) arbeitet mit der „EyeToy“-Kamera, die eine der ersten kommerziell verfügbaren Kameraeingaben für Computerspiele ist. Das Spiel zeigt eine von Schaum bedeckte Fensterscheibe, hinter der das Videobild des Spielers verborgen ist. Durch Bewegung vor der Kamera lässt sich der virtuelle Schaum entfernen und das eigene Bild freilegen. Ist die „Fensterscheibe“ geputzt, startet das nächste Level des Spiels mit einer neuen Scheibe. Richtet man nun die Kamera auf den Bildschirm des Spiels, sorgt das Videofeedback für ein permanentes Erzeugen von Veränderung im Bild, die vom verwendeten Algorithmus als Bewegung vor der Kamera interpretiert wird. In der Folge wird jede Scheibe sehr schnell geputzt und das Spiel hastet erfolgreich von Level zu Level.

Diese und die weiteren Experimente des Zyklus sind nun in erster Linie Belege für das kybernetische Erbe der Interaktion und dessen Wirksamkeit bis in zeitgenössische Computerspiele. Hier wird deutlich, dass In- und Output von Feedbackmaschinen in einem engen und nicht beliebigen Verhältnis zueinander stehen. Wenn der Output



Abbildung 28: Paidia Laboratory: feedback #3 (Foto: Paidia Institute).

eines Spiels als Input für ein erfolgreiches Spielen ausreichen kann, wird darüber hinaus klar, dass menschliches Handeln hier, wenn überhaupt, dann tatsächlich nur in der Rolle der Tauben Skinners vonnöten ist, die In- und Output als Reiz und Reaktion miteinander verschalten. In diesem Sinne könnte man die Experimente als Indizien für das Argument deuten, Computerspiele verlangten von ihren Spielern ein computerisiertes Handeln – wie das der robotischen Hand, das sich dem Rhythmus getakteter Technologie unterworfen hat. Die Experimente sollen hier aber darüber hinaus Anlass sein, nach dem Status dessen zu fragen, was hier zu sehen ist.

Denn ein Blick auf die Bildschirme der sich selbst spielenden Spiele macht klar, dass mit dem Entfernen des Spielers aus der Klammer des Spiels mehr verloren geht, als dessen (technisch gesehen mitunter) überflüssige Anwesenheit. Insbesondere „Wishi Washi“ beziehungsweise „feedback #3“ verliert in dem Augenblick, in dem es von seinem eigenen rückgekoppelten Bild gespielt wird, den größten Teil der Symbolizität dieses Bildes. Fehlt die interpretierende Instanz, die das, was zu sehen ist, zugleich wahrnimmt wie auch erzeugt, fällt die Zeichenebene an der Oberfläche des Spiels fast vollständig in sich zusammen. Das Geschehen auf dem Bildschirm löst sich auf in der schnellen Abfolge erfolgreich absolvierter Level und dem Videofeedback, das diese Level absolviert.

„Paidia Laboratory: feedback“ ist so nicht nur Beleg für die kybernetischen Wurzeln von Interaktion und Computerspiel, sondern verweist damit auch auf die Rolle, die der User in der Klammer der Interaktion für die Erzeugung ihrer Spiel- oder Modellwelten spielen mag. Die Frage „Von welcher Welt ist hier die Rede?“ stellt sich so als eine Frage, die sich alleine unter Verweis auf Algorithmen und Datenstrukturen oder deren Darstellung als Bild, Ton oder Bewegung genau so wenig beantworten lässt, wie durch die Idee, hier würden Informationen berechnet, zur Darstellung gebracht, als solche wahrgenommen, interpretiert und behandelt. Stattdessen verlangt diese Frage nach einem Blick auf die Tatsachen, deren Gesamtheit die Welt ausmacht – und auf deren Abhängigkeit vom Handeln ihrer Benutzer. Denn um sehen zu können, was ein Interface vermeintlich zeigt,

muss man dieses Interface augenscheinlich bedienen. Die Normalisierung des Nutzers und die Naturalisierung des Computers haben so in erster Linie ein Ziel: Interaktion zu naturalisieren, indem die Fähigkeit des Gebrauchs weniger als Unterwerfung unter die Maschine herausgebildet wird, sondern als Fähigkeit der gleichzeitigen Erzeugung und Wahrnehmung von Schnittstellen.

Teil V

REAFFERENZ

ACTION CAPTURE

Was von Schiller 1933 versäumt hatte zu untersuchen, wird in den 1990er Jahren wiederentdeckt: Körperliche Bewegung beeinflusst die Disambiguierung uneindeutiger scheinbarer Bewegung – ein Effekt, der als „Action Capture“ bezeichnet wird. Dessen Untersuchung belegt, dass die Planung und Ausführung von Handlungen und die Erwartungen über ihre Folgen direkt an der Wahrnehmung dieser Folgen beteiligt sind. Dieser „top-down“-Einfluss von Handlungszusammenhängen auf die Wahrnehmung ist darüber hinaus veränderlich: „Action Capture“ kann gelernt werden. Die Diskussion der Auswirkung von Handlungen auf die Wahrnehmung ihrer Folgen offenbart darüber hinaus Effekte wie den „Simon-Effekt“, nach denen erstens die Ähnlichkeit von Handlung und Reaktion der Umwelt die Wahrnehmung dieser Reaktion beeinflusst, und zweitens der Ort einer Handlung dort wahrgenommen wird, wo sie ihre Wirkung entfaltet. Die Experimente, die „Action Capture“ untersuchen, sind dabei grundsätzlich Experimente am Computer. „Action Capture“ ist ein „Inter-Action Capture“, das helfen kann, die Direktheit von Interaktion als Fusion von Handlung und Wahrnehmung zu begreifen. Dies zeigt sich einerseits in der historischen Entwicklung der Schnittstellen von „Pong“ und von Lichtgriffel, Maus und Touchscreen, andererseits in einer empirischen Studie, nach der Interaktivität und „Action Capture“ zwei Seiten einer Medaille sind.

7.1 VOLUNTARY ACTION CAPTURES VISUAL MOTION

Anlässlich eines Jahrestreffens der internationalen „Association for Research in Vision and Ophthalmology“ erscheinen in einem Supplement der Fachzeitschrift „Investigative Ophthalmology & Visual Science“ 1994 die Ergebnisse dieser Tagung. Die Seite 1275 der betreffenden Ausgabe teilen sich sechs Kurzberichte aus einer Poster-Session. Darunter ist eine Notiz mit dem Titel „Voluntary Action Captures Visual Motion“¹ von Ishimura und Shimojo. Die unter diesem Titel vorgestellte Studie setzt da an, wo von Schiller 1933 aufgehört hatte: Sie nimmt den „schwer zu berechnende[n]“² Einfluss willkürlicher Bewegung auf die Bewegungswahrnehmung ernst und untersucht ihn empirisch.

¹ G. Ishimura und S. Shimojo. »Voluntary action captures visual motion«. In: *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Supplement)* 35 (1994), S. 1275.

² von Schiller, »Stroboskopische Alternativversuche«, S. 195.

7.1.1 Korrespondenz

Gegenüber der Zeit der Gestaltpsychologie hat sich die wissenschaftliche Methode experimenteller Psychologie mittlerweile grundlegend verändert. Auch unter dem Einfluss der Verbindung ingenieurwissenschaftlicher Methoden mit psychologischen Fragestellungen, wie sie sich so deutlich in der Regelungstechnik am Übergang zur Kybernetik zeigt, bedeutet empirische Forschung jetzt weniger qualitative als quantitative Forschung.

Diese neue Forschungspraxis ist wesentlich von der Existenz eines einfachen und universellen Systems geprägt, das es erlaubt, nicht nur Art und Dauer der Präsentation von Stimuli exakt zu kontrollieren, Reaktionszeiten und Antworten ebenso exakt zu messen und diese Messungen statistisch auszuwerten, sondern mit dessen Hilfe sich auch die Handlungen der Versuchspersonen zur Steuerung der Präsentation der Stimuli einsetzen lassen. Dieses System, das die psychologische Forschung bis heute strukturiert, ist die Feedbackmaschine. Dank ihrer Verwendung unterscheidet sich die Experimentalpsychologie auf technischer Seite kaum von der empirischen Arbeit in der Human-Computer Interaction – mit der sie wie gesehen auch auf Seite kognitivistisch geprägter Theorie oft eng verwandt ist. Engelbarts Bewegungsstudien am *Augmentation Research Center* definieren damit bis heute die Experimentalsysteme sowohl einer empirischen Interaktionsforschung, als auch der zeitgenössischen Psychologie.

Im Lichte dieser neuen Experimentierpraxis werden die Fragen der frühen Experimental- und Gestaltpsychologie neu verhandelt – auch die der Wahrnehmung scheinbarer und uneindeutiger Bewegung. Dabei widmet sich die Forschung zunächst vor allem der passiven Bewegungswahrnehmung und fragt – ganz im Einklang mit den Identitätstheorien der Bewegungswahrnehmung, gegen die Wertheimer sich bereits 1912 positioniert hatte –, wie das visuelle System die Zwischenlagen ergänzt, die in den „gaps between »frames«“³ zu fehlen scheinen. Das Problem uneindeutiger Bewegung wird so zum „Korrespondenzproblem“: der Frage, welche Teile der *frames* zueinander gehören und von wo nach wo somit die Zwischenlagen interpoliert werden müssen.

Das Korrespondenzproblem folgt dabei einem Denkstil, nach dem die Objekte auf den wahrgenommenen *frames* intern repräsentiert werden, damit darauf im Sinne einer regelhaften Informationsverarbeitung operiert werden kann. Der undifferenzierte „optische Fluss“ raum-zeitlicher Veränderung der Helligkeit auf der Retina wird nach diesem Modell auf der „Sehbahn“ von der Retina zum Kortex und in der anschließenden kortikalen Verarbeitung in Repräsentationen zu-

³ Vilayanur S. Ramachandran und Stuart M. Anstis. »The perception of apparent motion«. In: *Scientific American* 254 (1986), S. 102–109, S. 102. Vergleiche auch Vilayanur S. Ramachandran und Stuart M. Anstis. »Perceptual organization in moving patterns«. In: *Nature* 304 (1983), S. 529–531.

nehmender Komplexität überführt.⁴ Denn wenn entschieden werden muss und kann, welche Teile des optischen Flusses als Bewegtes identisch sind, wird vorausgesetzt, dass die visuelle Wahrnehmung im optischen Fluss bewegte Objekte zunächst detektiert und extrahiert: „Our evidence indicates that in perceiving motion a viewer’s visual system rapidly extracts salient features and applies built-in laws of motion when processing the features.“⁵

Mit diesen „built-in laws“ scheint das Gehirn auf ein Wissen über die Welt zuzugreifen⁶, dies aber in Form eines evolutionär erworbenen und in den Wahrnehmungsprozess eingeschriebenen Automatismus. So scheint in der Disambiguierung uneindeutiger scheinbarer Bewegung zum Beispiel die Trägheit der Newton’schen Physik als „visual inertia“⁷ wirksam zu sein. Was Wertheimer als Prädisposition der Wahrnehmung einer Bewegungsrichtung durch die Richtung vorangegangener Bewegungseindrücke beschrieben hatte, wird so zur physikalischen Tendenz eines Bewegten, seine Bewegungsrichtung beizubehalten. Die „visual inertia“ erscheint so als ein Musterbeispiel einer *philosopher’s physics*, die die internen Vorgänge des Denkens (und Wahrnehmens) als formale Regeln (in diesem Falle: „laws of motion“) versteht.

Hinter dem Korrespondenzproblem steht damit die wahrnehmungsphilosophische Voraussetzung, die auch hinter der Annahme steht, beim Interagieren würden die Symbole, auf die reagiert wird, schon alleine deshalb an der Oberfläche als „klar abgegrenzte Brocken“⁸ wahrgenommen, weil ihr Vorkommen an der Unterfläch determiniert wurde. Diese Vorstellung liegt dem gesamten Kognitivismus zu Grunde – als „Repräsentationalismus“ nach dem wir nicht die Welt wahrnehmen, sondern ein Bild von ihr, das die Sinnesorgane erzeugen, ohne einen Einfluss darauf zu haben, von welcher Welt dabei die Rede ist. Diese Idee ist spätestens seit dem (mittelalterlichen) Bild der „Camera Obscura“ ein wichtiges Modell der Philosophie der Wahrnehmung.⁹

4 Zur Sehbahn (dem *visual pathway*) retinaler und kortikaler Verarbeitung vergleiche einführend Kandel, Schwartz und Jessell, *Principles of Neural Science, Fourth Edition*, S. 492-589.

5 Ramachandran und Anstis, »The perception of apparent motion«, S. 109. Zum Begriff der „Salienz“ vergleiche Urs Fries, Lasse Scherffig und Stefanie Stallschus. »How to understand... Seam Carving«. In: *Off Topic* 0 (2008), S. 94-97.

6 Ramachandran und Anstis, »The perception of apparent motion«, S. 102.

7 Stuart M. Anstis und Vilayanur S. Ramachandran. »Visual Inertia in Apparent Motion«. In: *Vision Research* 27.5 (1987), S. 755-764.

8 Schulte, Wittgenstein. *Eine Einführung*, S. 67.

9 Vergleiche hierzu Lambert Wiesing. »Einleitung: Philosophie der Wahrnehmung«. In: *Philosophie der Wahrnehmung*. Hrsg. von Lambert Wiesing. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2002, S. 9-64, S. 22-25. Wertheimer und die Gestaltpsychologie stellen eine wichtige Abweichung von der Dominanz dieses Modells dar, weil hier der Bewegungseindruck, wie gesehen, nicht „restlos durch die Reizgrundlage konstituiert wird“ und der Gesamtzusammenhang seine Teile erst hervorbringt. Hoffmann, »φ-Phänomen Film. Der Kinematograph als Ereignis experimenteller Psychologie um 1900«, S. 245.

Bewegungswahrnehmung wird so zu einer kognitiven Funktion, die der (physischen) Reizung der Retina, der Detektion von Objekten und ihrer (mental)en Repräsentation im Kortex nachgelagert ist und sie als Reizgrundlage voraussetzt.

For orthodox cognitive science [...] It is believed that action merely executes preplanned sequences, whereas perception is supposed to be in the business of furnishing cognition with abstract representations of the environment, i.e., with a list of facts, as they would normally be described by Newtonian physics.¹⁰

Die Wahrnehmung tatsächlicher und scheinbarer Bewegung erfolgt damit *feed-forward* oder „bottom-up“, von der Retina zum Kortex. Nach dieser Denktradition gilt damit „low-level processes can, on their own, control the perception of apparent motion“¹¹.

Diese Idee kommt nicht von ungefähr. Bereits frühe Experimente haben gezeigt, dass schon in der Retina Reizungen in organisierter Form verarbeitet werden¹² und dass im primären visuellen Kortex Zellen existieren, die diese Vorverarbeitung aufgreifen um beispielsweise als „simple“ Zellen auf balkenförmige Stimuli fixer Position und Orientierung zu reagieren, während „komplexe“ Zellen Balken einer bestimmten Orientierung detektieren, ohne dass diese eine feste Position im Sehfeld besitzen müssen.¹³ Die naheliegende Folgerung, dass mit dieser Kantendetektion zunehmender Allgemeinheit eine „feature abstraction“¹⁴ stattfindet, die keiner Intervention „von oben“ bedarf, legt natürlich nahe, dass die gesamte visuelle Verarbeitung diesem Prinzip folgen könnte.

Was Ishimura und Shimojo untersuchen wollen – nämlich den Einfluss körperlicher Bewegung auf die Bewegungswahrnehmung – widerspricht diesem Ansatz, denn Bewegung erfolgt „top-down“, vom (prä-motorischen und motorischen) Kortex zur Muskulatur. Vor diesem Hintergrund berufen sie sich auf theoretische Modelle, nach denen die Erzeugung und Wahrnehmung von Bewegung zumindest teilweise im selben Teil des Gehirns stattfinden und daher wechselwirken könnte¹⁵. Um das experimentell zeigen zu können, koppeln die Forscher verschiedene Formen uneindeutiger Bewegung an die körperliche Bewegung ihrer Versuchspersonen.

¹⁰ Tom Froese. »From adaptive behavior to human cognition: a review of Enaction«. In: *Adaptive Behavior* 20.3 (2012), S. 209–221, S. 212.

¹¹ Ramachandran und Anstis, »The perception of apparent motion«, S. 109.

¹² Vergleiche hierzu Kandel, Schwartz und Jessell, *Principles of Neural Science, Fourth Edition*, S. 516–520.

¹³ Ebd., S. 533–534.

¹⁴ Ebd., S. 535.

¹⁵ Ishimura und Shimojo, »Voluntary action captures visual motion«.



Abbildung 29: *Motion Quartets* und deren mögliche Perzepte (nach G. Ishimura und S. Shimojo. »Voluntary action captures visual motion«. In: *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Supplement)* 35 (1994), S. 1275).

7.1.2 Formen uneindeutiger Bewegung

Die rotierenden Punkte von Schillers sind mittlerweile als „Motion Quartets“¹⁶ zu einem Standardwerkzeug der Wahrnehmungspsychologie geworden. Bei Ishimura und Shimojo tauchen sie in einer Anordnung auf, die den Eindruck horizontaler oder vertikaler Bewegung hervorrufen kann (Abbildung 29).

Zusätzlich verwenden die Forscher die berühmte „Barber-Pole-Illusion“¹⁷: Ein um die eigene Achse rotierender Stab, der mit diagonalen Streifen versehen ist, ruft den Eindruck hervor, die Streifen würden sich in horizontaler Richtung bewegen (Abbildung 30). Die Illusion, die ihren Namen von mit blauen und roten Streifen dekorierten Stangen bekommen hat, die traditionell als Blickfang von amerikanischen Friseursalons benutzt werden, ist ein Spezialfall des „Aperturproblems“. Wann immer die Bewegung von schrägen Streifen hinter einer schmalen Öffnung zu sehen ist, ist deren Bewegungsrichtung nicht eindeutig bestimmbar und ihre Wahrnehmung wird von der Form der Öffnung beeinflusst. Der vertikale „Barber-Pole“ (der auf der Retina das Bild sich bewegendes Streifen hinter einer vertikalen Apertur hinterlässt) führt so zur Wahrnehmung einer vertikalen Bewegung, obwohl der optische Fluss, den die sich bewegendes Streifen auf der Retina des Auges hinterlassen, genauso gut Grundlage des Eindrucks horizontaler Bewegung sein könnte.¹⁸

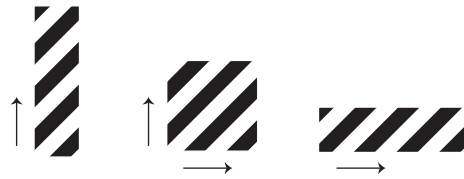
Als dritten Stimulus verwenden die Autoren ein Sinusgitter oder „sine-wave grating“ (Abbildung 31). Als Streifenmuster bestimmter räumlicher Frequenz und Orientierung wurden diese Muster ursprünglich in der Untersuchung der rezeptiven Felder simpler und komplexer Zellen des visuellen Kortex eingesetzt¹⁹. Sie bilden aber

16 Ramachandran und Anstis, »The perception of apparent motion«, Laurence T. Maloney u. a. »Past trials influence perception of ambiguous motion quartets through pattern completion«. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102.8 (2005), S. 3164–3169.

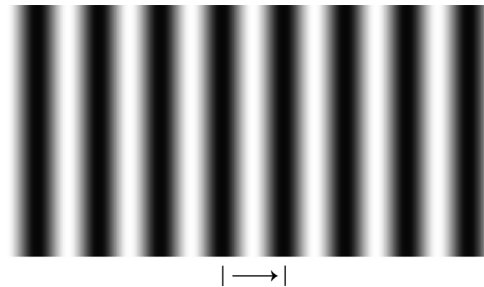
17 Erstmals beschrieben in Joy P. Guilford. »Illusory Movement from a Rotating Barber Pole«. In: *The American Journal of Psychology* 41.4 (1929), S. 686–687.

18 Nick Fisher und Johannes M. Zanker. »The directional tuning of the barber-pole illusion«. In: *Perception* 30 (2001), S. 1321–1336.

19 Vergleiche hierzu John P. J. Pinel. *Biopsychology*. 4. Aufl. Boston, MA: Allyn und Bacon, 2000, S. 180–181.



Abbildungung 30: *Barber-Pole-Illusion* beziehungsweise Aperturproblem – uneindeutige Apertur in der Mitte (eigene Darstellung).



Abbildungung 31: *Sine-Wave Grating*. Der Pfeil markiert einen Abstand/eine Phasenverschiebung von 180° (eigene Darstellung).

darüber hinaus einen Standardstimulus der Psychophysik, dessen Eigenschaften normalerweise in Amplitude, Phasenverschiebung und Ortsfrequenz angegeben werden. Eine Verschiebung entlang der Phase eines solchen Musters wird immer dann uneindeutige Bewegung zur Folge haben, wenn sich die Verschiebung einer Phasenverschiebung von 180° nähert.

Diese drei Stimuli werden von den Forschern an die Handbewegung ihrer Probanden gekoppelt, so dass die scheinbare Bewegung synchron zur Bewegung der Hände zu sehen ist. Das Ergebnis der Studie ist eindeutig: Die wahrgenommene Bewegungsrichtung uneindeutiger Bewegung wird signifikant von der tatsächlichen Bewegungsrichtung der Hand beeinflusst. Es gibt also einen Einfluss der körperlichen Bewegung auf die Wahrnehmung. In Anlehnung an die Fragestellung von Schillers²⁰ könnte man festhalten: *Körperliche Aktivität bestimmt den Ausfall einer stroboskopischen Bewegungsalternative*.

Wahrnehmungspsychologie und Psychophysik bezeichnen das Beeinflussen einer Wahrnehmung durch eine andere traditionell als „Capture“. Der bereits von Wertheimer beschriebene Effekt, dass ein (scheinbar) bewegter Stimulus andere in seiner Nähe in Bewegung zu versetzen scheint, wird in dieser Tradition als „Motion Capture“²¹

²⁰ Vergleiche 1.2.2.

²¹ Vilayanur S. Ramachandran und Stuart M. Anstis. »Displacement thresholds for coherent apparent motion in random dot-patterns«. In: *Vision Research* 23.12 (1983), S. 1719–1721.

bezeichnet. Auch die Beeinflussung der auditorischen Wahrnehmung durch die visuelle, die bereits das Bestimmen des Zeitpunktes des Sterndurchgangs bei der Auge-Ohr-Methode erschwert hatte, ist ein solcher *Capture*-Effekt.²² Analog dazu nennen die Autoren den gefundenen Effekt „Action Capture“, weil hier motorische Bewegung die visuelle Wahrnehmung vereinnahmt.

7.1.3 Raum-zeitliche Zusammenhänge

Im folgenden Jahr erscheint wieder in „Investigative Ophthalmology & Visual Sciences“ eine ebenso kurze Notiz, diesmal von Ishimura alleine, die an die Entdeckung von Action Capture anschließt.²³ Jetzt geht es nicht länger um den Beweis der Existenz des Effektes, sondern in weiterer Umsetzung dessen, was von Schiller versäumt hatte, um die Feststellung seiner Gesetzmäßigkeiten. Dazu schließt Ishimura zunächst aus, dass es sich um einen Effekt der visuellen Wahrnehmung handeln könnte, indem er experimentell sicherstellt, dass die Probanden zwar die scheinbare Bewegung eines Sinusgitters auf dem Bildschirm sehen können, nicht aber ihre sich bewegende Hand. Anschließend variiert er verschiedene Parameter des Experimentalsystems.

Zunächst ist dies der räumliche und zeitliche Abstand der Bewegung von Hand und Bild. Anschließend ist es die Richtung ihrer Kopplung: Dazu trainieren die Probanden vor den eigentlichen Experimenten, wie schon die Benutzer des NLS, die Auswahl eines Ziels auf dem Bildschirm per Maus. Bei einem Teil von ihnen wird dabei die Bewegung des Auswahlcursors gegen die der Maus (und damit auch der Hand) invertiert. Zu guter Letzt führt Ishimura Experimente durch, bei denen die Hand nicht aktiv von den Probanden bewegt wird, sondern „passiv“ durch einen Aktuator, während die scheinbare Bewegung kurz vor oder nach dieser passiven Bewegung gezeigt wird.

Es zeigt sich, dass Action Capture am stärksten ist, wenn der zeitliche und räumliche Abstand zwischen tatsächlicher und scheinbarer Bewegung gering ist. Im Idealfall geschehen beide Bewegungen gleichzeitig, während die scheinbare Bewegung die Hand räumlich überlappt. Das Training eines invertierten Zusammenhangs zwischen der Bewegungsrichtung der Hand und der Darstellung der resultierenden Bewegung auf dem Bildschirm wirkt sich negativ auf die Stärke des Effektes aus – wenn der zeitliche Abstand groß ist, beobachtet

22 Zur Beeinflussung der Wahrnehmung von Bewegung über Modalitätsgrenzen hinweg vergleiche zum Beispiel Robert Sekuler, Allison B. Sekuler und Renee Lau. »Sound alters visual motion perception«. In: *Nature* 385.23 (1997), S. 308, sowie Salvador Soto-Faraco, Alan Kingstone und Charles Spence. »Multisensory contributions to the perception of motion«. In: *Neuropsychologia* 41 (2003), S. 1847–1862.

23 G. Ishimura. »Visuomotor factors for action capture«. In: *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Supplement)* 36 (1995), S357.

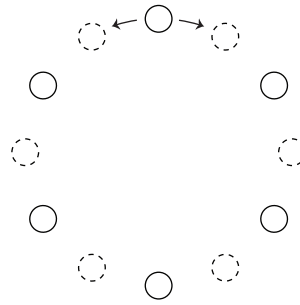


Abbildung 32: Uneindeutige Bewegung in den Studien Wohlschlägers (nach Andreas Wohlschläger. »Visual motion priming by invisible actions«. In: *Vision Research* 40 (2000), S. 925–930, S. 926).

Ishimura sogar einen gegenteiligen Effekt, bei dem eine Handbewegung nach links eine Bewegung des Sinusgitters nach rechts zur Folge zu haben scheint. Zu guter Letzt zeigt sich, dass zwar sowohl die aktive wie auch die passive Bewegung der Hand die Wahrnehmung der Bewegungsrichtung beeinflusst. Wenn die scheinbare Bewegung aber kurz vor der Handbewegung auftritt, tritt nur dann ein *Capture*-Effekt auf, wenn die Hand willentlich bewegt wurde.

Wenige Jahre später greift Andreas Wohlschläger diese Arbeiten auf, um ebenfalls nach den Gesetzmäßigkeiten des Effekts zu fragen.²⁴ Dabei setzt er wieder auf kreisförmige scheinbare Bewegung und einen Stimulus, der sich nur geringfügig von dem von Schillers unterscheidet (Abbildung 32). Um die scheinbare Kreisbewegung auszulösen, müssen die Probanden hier an einem Knopf drehen. In Ergänzung zu den Studien Ishimuras zur Rolle räumlicher Zusammenhänge zeigt Wohlschläger hier, dass der *Capture*-Effekt dann optimal ist, wenn die Achsen beider Drehbewegungen in derselben räumlichen Ausrichtung stehen.²⁵

In weiteren Experimenten ersetzt Wohlschläger den Drehknopf durch Druckknöpfe, wobei sich zeigt, dass auch das Drücken von rechts und links nebeneinander angebrachten Knöpfen die Wahrnehmung der scheinbaren Drehung beeinflusst. Eine mit „rechts“ oder „links“ konnotierte Bewegung scheint sich so direkt auf die Wahrnehmung einer Drehbewegung im Uhrzeiger- oder Gegenuhrzeigersinn auszuwirken.

Abschließend ergänzt Wohlschläger Ishimuras Versuche zur Rolle willentlicher Bewegung, indem er zeigt, dass der Effekt auch dann eintritt, wenn die Drehbewegung während der Präsentation der Stimuli lediglich geplant und erst nach ihrem Erscheinen auch getätigt wird.

Die Studien zeigen damit, dass Action Capture eine enge raum-zeitliche Verknüpfung von Handlung und Wahrnehmung voraussetzt:

²⁴ Andreas Wohlschläger. »Visual motion priming by invisible actions«. In: *Vision Research* 40 (2000), S. 925–930.

²⁵ Hierzu und zum Folgenden vergleiche ebd., S. 927–929.

Der Effekt ist tatsächlich nur nachweisbar, wenn zwischen Bewegung und Stimulus weniger als eine Sekunde liegt.²⁶ Er ist stärker für kürzere Intervalle, am stärksten, wenn Hand und scheinbare Bewegung sich überlappen und auch die räumliche Orientierung beider übereinstimmt.

Vor allem aber zeigen die Studien, dass nicht alleine Wahrnehmungsprozesse für den Effekt verantwortlich sein können. Sowohl Ishimura als auch Wohlschläger haben ausgeschlossen, dass ihre Probanden die Bewegung der eigenen Hand sehen konnten, aber auch andere Wahrnehmungsmodalitäten reichen zur Erklärung des Effektes nicht aus. Propriozeption, also die körpereigene Wahrnehmung von Position und Stellung der Glieder zueinander, kann zwar dafür verantwortlich sein, dass auch ein passives Bewegtwerden der Hand einen Einfluss auf die Wahrnehmung hat. Sie erklärt aber nicht, wie so die reine Planung einer Bewegung die Wahrnehmung scheinbarer Bewegung beeinflussen kann: „The finding that action planning is sufficient [...] excludes cross-modal information flow from kinesthetic to visual modalities as one possible explanation.“²⁷

Auch die Tatsache, dass Ishimura in der Lage ist, die Stärke des Effekts durch Training zu reduzieren – und ihn sogar zu invertieren – zeigt, dass Action Capture den gesamten neuronalen Apparat der Planung und Ausführung von Bewegung sowie ihrer Wahrnehmung umfasst. Wohlschlägers Beobachtung, dass sich auch eine nicht kreisförmige motorische Bewegung nach rechts oder links auf die scheinbare Richtung einer Drehbewegung auswirken kann, ist ein weiteres Argument dafür, dass Action Capture nicht auf der Wahrnehmung von Bewegung alleine basiert. Vielmehr scheint hier die Alltagserfahrung wirksam zu sein, dass das Drücken nach rechts bei einem runden Gegenstand eine Rollbewegung im Uhrzeigersinn zur Folge hat. Die Erwartung über die Folgen einer motorischen Handlung findet sich also in der Wahrnehmung dieser Folgen wieder. Und wie der gezeigte Einfluss von Training nahelegt, ist dies eine erlernte und veränderliche Erwartung, kein evolutionär verkörpertes Wissen über die Physik der Welt.

Wertheimers „Prädisposition“ wird in der zeitgenössischen Psychologie als „Bahnung“ oder „Priming“ bezeichnet. Ein Stimulus aktiviert bestimmte Verarbeitungsmuster und sorgt so dafür, dass weitere Stimuli im Sinne des vorangegangenen verarbeitet werden und sich

26 In einer nicht publizierten Studie am Tübinger Institut für Wissensmedien haben wir 2007 keine Effekte für ein Intervall von 1000 ms nachweisen können, während Ishimura den Effekt bei 17, 217, 417 und 617 ms festgestellt hat. Dieses Ergebnis ist im Einklang mit Ergebnissen von Versuchen zur Prädisposition im Sinne Wertheimers: Auch die wahrgenommene Richtung uneindeutiger Bewegung wird nur dann durch die Richtung einer zuvor gezeigten Bewegung beeinflusst, wenn weniger als 800 ms zwischen beiden Bewegungen liegen. Vergleiche Alan Pinkus und Allan Pantle. »Probing Visual Motion Signals with a Priming Paradigm«. In: *Vision Research* 37:5 (1997), S. 541–552.

27 Wohlschläger, »Visual motion priming by invisible actions«, S. 929.

so (beispielsweise) bestimmte Perzepte gegenüber anderen durchsetzen. Wenn etwa im Sinne der „visual inertia“ eine Bewegung in eine Richtung dafür sorgt, dass eine darauf folgende uneindeutige Bewegung in derselben Richtung wahrgenommen wird, handelt es sich um einen Priming-Effekt. In diesem Sinne könnte man bei den Experimenten von Ishimura, Shimojo und Wohlschläger von „priming by hand movements“²⁸ sprechen. Da die Experimente aber nahelegen, dass die Disambiguierung uneindeutiger Bewegung neben der visuellen Wahrnehmung nicht nur die Propriozeption umfasst, sondern auch die tatsächliche Muskelaktivität, die Planung von Bewegung und die Erwartungen über die Folgen einer Handlung, kann es sich hierbei nicht alleine um Priming durch Bewegung handeln. Vielmehr scheint der Effekt die Gesamtheit einer Handlung oder „Action“ zu umfassen, womit es sich tatsächlich um Action Capture oder „priming by actions“ handelt²⁹.

Action Capture umfasst dabei keineswegs nur Auge und Hand. Zum Beispiel lassen sich auch Paare von Tönen zusammenstellen, die beim Hören uneindeutig im Bezug auf den Wechsel der Tonhöhe (nach oben oder unten auf der Tonleiter) sind.³⁰ Wenn solche uneindeutigen Tonfolgen aber von Pianisten auf den Tasten eines Keyboards ausgelöst werden, beeinflusst auch hier die motorische Aktivität die Wahrnehmung der Veränderung der Tonhöhe.³¹

Auch lassen sich analog zur visuellen uneindeutigen Bewegung uneindeutige taktile Stimuli konstruieren. Bereits Exner hatte vermutet, dass wir auch bei Stimulation der Haut gezwungen sind, „Zeitdifferenzen, wo irgend möglich als Bewegung aufzufassen“³². Diese taktile Form scheinbarer Bewegungen besitzt ebenfalls uneindeutige *Motion Quartets*, deren Wahrnehmung sich durch Handlungen beeinflussen lässt – zum Beispiel durch Augenbewegungen bei geschlossenen Augen.³³

Zu guter Letzt ist es nicht nur die Bewegung der Hand in der Nähe eines Bildschirms, die visuelles Action Capture zur Folge hat: Beim Gehen auf einem Laufband wird eine uneindeutige Bewegung auf dem Boden vor dem Laufband im Sinne der durch das Laufen nahegelegten Vorwärtsbewegung wahrgenommen.³⁴ Handlungen scheinen sich also ganz generell und unabhängig von der Modalität in die

28 Wohlschläger, »Visual motion priming by invisible actions«, S. 929.

29 Ebd.

30 Dieses „Tritonus Paradox“ wurde erstmals beschrieben in Diana Deutsch. »A Musical Paradox«. In: *Music Perception* 3.3 (1986), S. 275–280.

31 Bruno H. Repp und Günther Knoblich. »Action Can Affect Auditory Perception«. In: *Psychological Science* 18.1 (2007), S. 6–7.

32 Exner, »Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse: III. Abhandlung«, S. 431.

33 Olivia Carter u. a. »Tactile Rivalry Demonstrated with an Ambiguous Apparent-Motion Quartet«. In: *Current Biology* 18 (2008), S. 1050–1054.

34 Yoshiko Yabe und Gentaro Taga. »Treadmill locomotion captures visual perception of apparent motion«. In: *Experimental Brain Research* 191.4 (2008), S. 487–494.

Wahrnehmung dessen einzuschreiben, was für ihre Folgen gehalten wird.

7.1.4 Einfluss von oben

Die Wahrnehmung scheinbarer Bewegung ist also nicht alleine eine Frage der Wahrnehmung. Zwar spricht einiges dafür, dass sie auch *bottom-up*, von der Retina zum Kortex erfolgt³⁵, dennoch sammeln sich auch unabhängig von der Untersuchung von Action Capture die Hinweise, dass *top-down*-Prozesse für die Bewegungswahrnehmung insgesamt ebenso wichtig sein könnten. So lässt sich experimentell zeigen, dass bereits das Richten der Aufmerksamkeit auf einen scheinbar bewegten Stimulus dessen Bewegungseindruck beeinflussen kann³⁶ und dass die Aufmerksamkeit, die auf einen bewegten Stimulus gerichtet ist, darüber hinaus dazu führen kann, dass dessen Bewegung die eines zweiten beeinflusst. *Capture*-Effekte werden also aktiv vermittelt: „the most parsimonious explanation is that all capture is mediated by attention.“³⁷

Auch ist schon die „visual inertia“ vielleicht mehr als ein Priming, bei dem die letztgesehene Bewegung die folgende beeinflusst. Lässt man *Motion Quartets* abwechselnd im Uhrzeiger- und Gegenuhrzeigersinn rotieren, wird ein darauf folgender uneindeutiger Stimulus im Sinne dieser alternierenden Sequenz wahrgenommen – was darauf hindeutet, dass die visuelle Wahrnehmung eine raum-zeitliche Mustererkennung durchführt, deren neuronale Korrelate aller Wahrscheinlichkeit nach nicht Teil des visuellen Systems alleine sind.³⁸

In einer bemerkenswerten Studie, die gewissermaßen die gesamte Bandbreite multistabiler Stimuli benutzt, haben Michael McBeath, Kazunori Morikawa und Mary Kaiser darüber hinaus gezeigt, dass auch die Form von Objekten die wahrgenommene Richtung ihrer uneindeutigen Bewegung beeinflussen kann.³⁹ Die Forscher versuchen zu zeigen, dass sich die scheinbare Bewegungsrichtung beeinflussen lässt, wenn die gezeigten Objekte subjektiv ein Vorne und Hinten besitzen. Da das Vorne und Hinten von Objekten eine semantische Kategorie ist, wäre damit die Hypothese einer reinen *bottom-up*-Ver-

35 Wohlschläger, »Visual motion priming by invisible actions«, S. 925. Zur Frage der multimodalen *bottom-up*-Konstruktion von Perzepten vergleiche auch Marc O. Ernst und Heinrich H. Bülthoff. »Merging the senses into a robust percept«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 8.4 (2004), S. 162–169.

36 Patrick Cavanagh. »Attention-based motion perception«. In: *Science* 257.5076 (1992), S. 1563–1565.

37 Jody C. Culham und Patrick Cavanagh. »Motion capture of luminance stimuli by equiluminous color gratings and by attentive tracking.« In: *Vision Research* 34.20 (1994), S. 2701–2706, S. 2701.

38 Maloney u. a., »Past trials influence perception of ambiguous motion quartets through pattern completion«, S. 3168.

39 Michael K. McBeath, Kazunori Morikawa und Mary K. Kaiser. »Perceptual Bias for Forward-Facing Motion«. In: *Psychological Science* 3.6 (1992), S. 362–367.

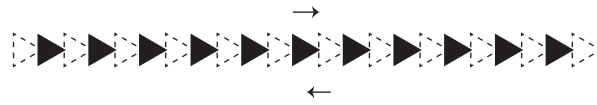


Abbildung 33: Dreiecke in uneindeutiger Bewegung (nach Michael K. McBeath, Kazunori Morikawa und Mary K. Kaiser. »Perceptual Bias for Forward-Facing Motion«. In: *Psychological Science* 3.6 (1992), S. 362–367, S. 363).

arbeitung visueller Stimuli, bei der die Reizgrundlage alleine ihre Wahrnehmung determiniert, widerlegt. Dazu zeigen die Forscher ihren Probanden einen Stimulus, der den Sinusgittern nicht unähnlich ist, jetzt aber aus nebeneinander aufgereihten identischen Objekten besteht. Nacheinander werden zwei Frames gezeigt, auf denen eine Reihe von Objekten zu sehen ist, die in horizontaler Richtung verschoben wird. Das Resultat ist auch hier ein horizontaler Bewegungseindruck, der als Rechts- oder Linksbewegung erscheinen kann.

Zunächst handelt es sich bei den so aufgereihten Objekten um Dreiecke, die mit einer Spitze nach rechts, links oder oben weisen (Abbildung 33). Und tatsächlich wird die wahrgenommene Bewegungsrichtung entsprechend von der jeweiligen Form beeinflusst. Das Vorne und Hinten dieser Stimuli ist allerdings immer noch zu einem gewissen Grad strukturell bedingt – schließlich existieren die Spitzen eines Dreiecks eindeutig auf Ebene der Reizgrundlage. Die Forscher zeigen aber, dass diese Beeinflussung zumindest teilweise unabhängig von der physischen Realität des Stimulus sein muss. Dazu verwenden sie die berühmte Kippfigur Ente-Hase⁴⁰ so, dass die „Vorderseite“ des Hasen in eine der Richtungen weist, die der Ente in die andere (Abbildung 34). Mit Hilfe eindeutiger Bilder von Hasen und Enten wird jetzt bei den Versuchspersonen die Wahrnehmung eines der Perzepte (Hase oder Ente) im Sinne eines Priming gebahnt. Es zeigt sich, dass die Versuchspersonen nicht nur 15 Minuten nach dem Priming im Angesicht des Enten-Hasen immer noch das zuvor gebahnte Perzept wahrnehmen. Auch ist die wahrgenommene Bewegungsrichtung des Streifens aus diesen Bildern signifikant in die Richtung beeinflusst, die bei dem jeweils gebahnten Perzept vorne ist. Damit ist die semantische Kategorie „Vorne/Hinten“ vollständig von der Reizgrundlage entkoppelt, beeinflusst aber weiter den Bewegungseindruck. Als was eine Figur wahrgenommen wird, wirkt sich also nicht nur auf eine bewusste (oder kognitive) Bewertung ihrer Bewegung aus, sondern auch direkt auf deren Wahrnehmung. Dieser Effekt gilt in beide Rich-

⁴⁰ Zur Geschichte und Rolle der Figur in der Psychologie vergleiche Ian C. McManus u. a. »Science in the Making: Right Hand, Left Hand. II: The duck-rabbit figure«. In: *Laterality* 15 (2010), S. 166–185.

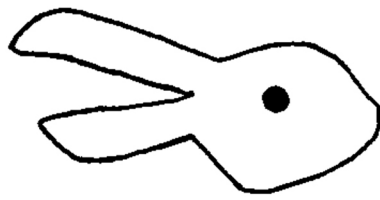


Abbildung 34: Enten-Hase (aus Michael K. McBeath, Kazunori Morikawa und Mary K. Kaiser. »Perceptual Bias for Forward-Facing Motion«. In: *Psychological Science* 3.6 (1992), S. 362–367, S. 366).

tungen: Auch die wahrgenommene Bewegung einer Kippfigur beeinflusst, als was sie wahrgenommen wird.⁴¹

Wenn in der Wahrnehmung also ein Wissen über eine physische Realität aktiv ist, ist dieses Wissen nicht nur ein evolutionär erworbener neuronaler Filter auf der Strecke von „unten“ nach „oben“, der zunächst in der raum-zeitlichen Dynamik des Netzhautbildes Objekte detektiert, um dann deren Bewegung zu bestimmen. Dieses Wissen ist vielmehr auch als erworbenes implizites Wissen an der Erzeugung von Wahrnehmungseindrücken „von oben“ beteiligt. Ganz im Sinne der Gestaltidee formt es mit, was zu sehen ist, und reagiert dynamisch auf die Kontextualisierung des Gesehenen durch einen Handlungsrahmen.

Für die Wahrnehmung unbewegter Stimuli lässt sich Ähnliches festhalten: Auch die Dynamik des spontanen Umspringens der Wahrnehmung von Illusionen wie dem Necker-Würfel ist nicht alleine Folge visueller Verarbeitung. Stattdessen kann man davon ausgehen, dass diese Dynamik „from intervention by central, sensorimotor areas upon the visual system“⁴² stammt. Auch die Wahrnehmung unbewegter uneindeutiger Stimuli und damit die Wahrnehmung insgesamt wird so zu einer Form von Verhalten (im Gegensatz zu einem passiven Aufnehmen von Information), an der sensomotorische Areale aktiv beteiligt sind⁴³.

7.1.5 Reiz und Reaktion

Action Capture zeigt also, wie eng Handeln und Wahrnehmen verknüpft sind und wie wenig sich beide voneinander trennen lassen.

⁴¹ Lori J. Bernstein und Lynn A. Cooper. »Direction of motion influences perceptual identification of ambiguous figures«. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 23.3 (1997), S. 721–737.

⁴² Leopold und Logothetis, »Multistable phenomena: changing views in perception«, S. 261.

⁴³ Ebd., S. 254–255.

Neben multimodaler Integration scheinen auch motorische und sogar prä-motorische Signale in die Wahrnehmung einzufließen und Kortexareale, die für die Ausführung und Planung von Bewegung verantwortlich sind, direkt auf die Wahrnehmung Einfluss zu nehmen. Selbst wenn man also den *Model Human Processor*, wie seine Autoren, lediglich als Vereinfachung im Dienste der Anwendbarkeit ansieht statt eines Modells dessen, „what really is in the head“⁴⁴, ist die Metapher einer linearen Verschaltung von Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe, auf der das Modell basiert, im Angesicht von Action Capture als zumindest veraltet anzusehen. Dies zeigt sich bereits dann, wenn man den Versuchen folgt, Action Capture in ein repräsentationalistisches Modell des Handelns zu integrieren, das das Paradigma der klassischen Kognitionswissenschaft erhält.

Die Idee, die in den 1990er Jahren Anlass für die Untersuchung des Zusammenhangs von Handlung und Wahrnehmung ist, nämlich die Idee, „that the motor and the visual systems share a common spatial representation“⁴⁵, trägt den Namen „Common Coding“⁴⁶. Sie bildet den wichtigsten Kontext, in dem Action Capture diskutiert werden wird. *Common Coding* steht als funktionalistische Theorie⁴⁷ in der Tradition des Kognitivismus und geht explizit vom Vorhandensein mentaler Repräsentationen der Welt aus. Die Theorie bricht aber insofern mit dieser Tradition, als dass sie deren Annahmen über den Zusammenhang von Handlung und Wahrnehmung in Frage stellt: Wenn die These der Symbolmanipulation davon ausgeht, dass die Wahrnehmung die Umwelt in symbolische Repräsentationen übersetzt und Handlungen als Folge der Verarbeitung dieser Symbole generiert werden, setzt sie eine grundsätzliche Trennung beider voraus⁴⁸. Zwischen dem In- und Output eines Lebewesens befindet sich nach diesem Ansatz eine Reihe linear verschalteter Verarbeitungsebenen, in denen insbesondere die Wahrnehmung (als erste Ebene) unabhängig von den anderen ist: „the information stream in perception is commonly considered to be data-driven, in the sense of an unidirectional flow of information from peripheral to central stages.“⁴⁹ „Sensory codes“ und „action codes“ können nur dank der Übersetzung einer zentralen Instanz ineinander überführt werden⁵⁰ – eine

44 Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 24.

45 Ishimura und Shimojo, »Voluntary action captures visual motion«.

46 Zum Folgenden vergleiche vor allem Wolfgang Prinz. »Perception and Action Planning«. In: *European Journal of Cognitive Psychology* 9.2 (1997), S. 129–154.

47 Robrecht van der Wel, Natalie Sebanz und Günther Knoblich. »Action perception from a common coding perspective«. In: *People Watching: Social, Perceptual, and Neurophysiological Studies of Body Perception*. Hrsg. von Kerri L. Johnson und Maggie Shiffrar. Oxford: Oxford University Press, 2013, S. 4.

48 Ebd., S. 1.

49 Bernhard Hommel u. a. »The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning«. In: *Behavioral and Brain Sciences* 24 (2001), S. 849–937, S. 851.

50 Prinz, »Perception and Action Planning«, S. 130.

Überzeugung, die sich bereits in Descartes' Beschreibung der Zirbel-drüse als vermittelnde Instanz zwischen Sensorik und Motorik finden lässt⁵¹ und die sich als „cognitive processor“ auch im MHP wiederfindet⁵².

Dagegen postuliert *Common Coding*, dass Handlung und Wahrnehmung gemeinsam kodiert werden, ihre Repräsentationen sich also „überlappen“ und beeinflussen. Unter den zahlreichen Befunden, die sich für eine solche Ansicht ins Feld führen lassen⁵³, gehört neben Action Capture auch ein bemerkenswertes Experiment zum Verhältnis von Reiz und Reaktion.

Kompatibilität

Das Verhältnis von Reiz und Reaktion wird seit den 1950er Jahren systematisch als „stimulus-response compatibility“ oder „S-R compatibility“ untersucht⁵⁴, wobei niemand anderes als Fitts eine der ersten hierzu relevanten Studien veröffentlicht.

Das Problem der Auswirkung einer Kompatibilität (oder Ähnlichkeit) von *stimulus* und *response* auf die Geschwindigkeit und Korrektheit der Reaktion ist selbstverständlich ein Problem der Human Factors und wird von Fitts im Kontext eines von der *Air Force* finanzierten Forschungsprojekts untersucht⁵⁵. Wieder in der Tradition des Shannon'schen Kommunikationsmodells zeigt er hier, dass Reaktionszeiten, Fehler und die Rate der übertragenen Informationen nicht von den verwendeten Stimuli oder den erwarteten Antworten abhängen, sondern von deren Verhältnis: „it is not permissible to conclude that any particular set of stimuli, or set of responses, will provide a high rate of information transfer; it is the ensemble of S-R combinations that must be considered.“⁵⁶ Fitts macht dabei klar, dass die Kompatibilität dieser Ensembles keine objektive Existenz besitzt, sondern eine Funktion der Erwartungen seiner Probanden ist: „stimulus and response sets are optimally matched when the resulting ensemble agrees closely with the basic habits or expectancies of individuals“⁵⁷. Und Erwartungen sind, auch das hält Fitts bereits hier fest, kontextabhängig: „It must be remembered, however, that the expec-

51 Ebd., S. 131-132.

52 Card, Moran und Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, S. 41.

53 Vergleiche zum Beispiel Prinz, »Perception and Action Planning«.

54 Vergleiche hierzu Bernhard Hommel und Wolfgang Prinz. »Theoretical issues in stimulus-response compatibility: Editors' introduction«. In: *Theoretical Issues in Stimulus-Response Compatibility*. Hrsg. von Bernhard Hommel und Wolfgang Prinz. Amsterdam: North-Holland, 1997, S. 3-8.

55 Paul M. Fitts und Charles M. Seeger. »S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes«. In: *Journal of Experimental Psychology* 46.3 (1953), S. 199-210, S. 199.

56 Ebd., S. 209.

57 Ebd., S. 208.

tancies referred to are those which hold for the particular situation under study [...]“⁵⁸.

In den 1960er Jahren wird schließlich gezeigt werden, dass die Kompatibilität von S und R auch dann die Reaktionszeit beeinflusst, wenn sie für die Aufgabe irrelevant ist.⁵⁹ Dieser „Simon-Effekt“ ist zum Beispiel dann zu beobachten, wenn Versuchspersonen auf die gesprochene Anweisung, eine rechte oder linke Taste zu drücken, reagieren sollen und diese Anweisung dabei ebenfalls von der rechten oder linken Seite aus zu hören ist. Obwohl nur die Anweisung „rechts“ oder „links“, nicht aber ihr Ursprung von Bedeutung für die richtige Antwort ist, sind die Antwortzeiten genau dann kürzer, wenn Inhalt und Ursprung der Anweisung übereinstimmen.⁶⁰

Dieses Experiment lässt sich so variieren, dass nicht länger die Übereinstimmung des Ursprungs eines Stimulus und der Position der Taste überprüft wird, sondern die Übereinstimmung des Stimulus mit den Konsequenzen der Antwort⁶¹: Koppelt man die Tasten (rechts und links) jeweils an eine Lampe auf der anderen Seite (links und rechts) und weist die Probanden zusätzlich an, als Reaktion auf die Anweisung die jeweils passende Lampe zum Leuchten zu bringen, so tritt der Effekt nicht im Sinne der Tasten, sondern im Sinne der Lampen auf (Abbildung 35). Soll auf die Anweisung „links“ die linke Lampe leuchten, die durch die rechte Taste aktiviert wird, erfolgt die Antwort schneller, wenn diese Anweisung von links zu hören ist. Mit anderen Worten: Hier wirkt sich nicht der Ort der motorischen Handlung (rechte Hand und Taste) auf die Reaktion auf einen Stimulus aus und auch die anatomische Übereinstimmung zwischen Stimulus und Hand (und damit die Lateralität der kortikalen Verarbeitung) ist nicht Ursache des Effektes, sondern ihr zu erwartendes Resultat. Handlungen scheinen also dort stattzufinden, wo ihre Wirkung verortet wird – zumindest treten sie mit anderen Stimuli an diesem Ort in Wechselwirkung.

Wenn also Handlungen von Eigenschaften eines Perzepts (wie hier dessen Räumlichkeit) aktiviert oder inhibiert werden können (was sich zum Beispiel in verkürzten oder verlängerten Reaktionszeiten bemerk- und messbar macht) und wenn umgekehrt, wie nicht zuletzt Action Capture zeigt, Eigenschaften einer Handlung sich in der Wahrnehmung ihrer Folgen wiederfinden (was sich zum Beispiel als Einfluss auf die wahrgenommene Bewegungsrichtung uneindeutiger Bewegung bemerkbar macht), dann liegt der Schluss nahe, dass die

58 Fitts und Seeger, »S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes«, S. 208.

59 Hommel und Prinz, »Theoretical issues in stimulus-response compatibility: Editors' introduction«, S. 4.

60 J. Richard Simon und Alan P. Rudell. »Auditory S-R compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing«. In: *Journal of Applied Psychology* 51.3 (1967), S. 300–304.

61 Vergleiche Prinz, »Perception and Action Planning«, S. 143–146.

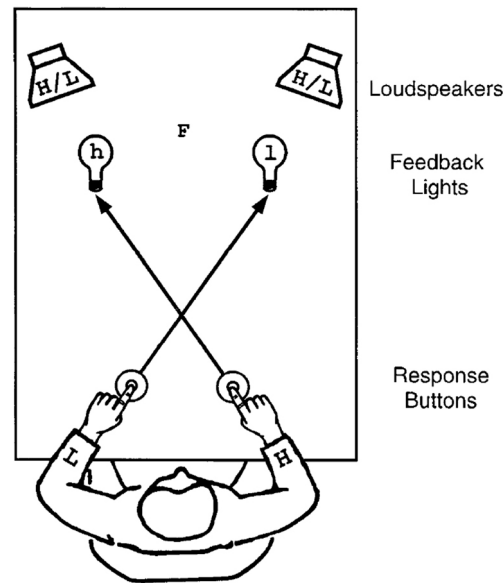


Abbildung 35: Modifiziertes Simon-Paradigma mit Vertauschung der Lateralität von Schaltern und Lampen (aus Wolfgang Prinz. »Perception and Action Planning«. In: *European Journal of Cognitive Psychology* 9.2 (1997), S. 129–154, S. 145).

Repräsentation beider miteinander wechselwirkt⁶². Mit dem Postulieren eines gemeinsamen Raums der Repräsentation von Handlung und Wahrnehmung unternimmt *Common Coding* den Versuch, die Trennung von Handeln und Wahrnehmen aufzuheben und beide zu einem gemeinsamen Mechanismus zu erklären, in dem Handeln immer schon im Format der Wahrnehmung seiner Folgen formuliert ist, während diese Folgen nicht ausschließlich als Sinneseindrücke, sondern als Teile eines Handlungszusammenhangs vorliegen. *Common Coding* postuliert daher, dass der Kode der Repräsentation der Umwelt sich auf die *Ereignisse* in dieser Umwelt bezieht⁶³, die immer sowohl Voraussetzung als auch Folge einer Handlung sein können.

Unabhängig davon, ob Ereignisse oder Welt tatsächlich repräsentiert werden, zeigen die Argumente für ein *Common Coding* aber, dass einerseits Handlungen direkt in der Wahrnehmung ihrer Folgen zu finden sind. Andererseits zeigen sie, dass die zu erwartenden Folgen einer Handlung die Planung und Ausführung dieser Handlung beeinflussen können, wobei der Effekt an den Ort dieser Folgen gekoppelt ist.

62 Für zahlreiche weitere empirische Belege für diesen Ansatz vergleiche Hommel u. a., »The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning«, S. 865–876.

63 Daher wird der Ansatz auch als „Theory of Event Coding (TEC)“ bezeichnet. ebd.

7.2 INTER-ACTION CAPTURE

Action Capture zeigt sich an Bildschirmen auf dem Tisch oder auf dem Boden vor einem Laufband. Es ist erlebbar beim Spielen eines Keyboards und dem Fühlen eines haptischen Interfaces für die Fingerspitze und setzt Eingabegeräte mit scheinbarer Bewegung in Bild, Haptik oder Ton in Beziehung. Kurz: Seit der Effekt untersucht wird, wird er als Effekt einer Situation untersucht, die die Informatik interaktiv nennen würde. Action Capture ist also auch immer ein *Inter-Action Capture*.

Das überrascht wenig. Dass sich das aktive Handeln am Bildschirm vom bloßen Blick darauf unterscheidet, zeigt sich zum Beispiel bereits daran, dass das interaktive Rotieren virtueller Objekte auf dem Bildschirm das anschließende Abschneiden bei Tests der mentalen Rotationsfähigkeit verbessert – und zwar nur dann, wenn die Objekte in Richtung ihrer scheinbaren Rotation mit der Maus „gezogen“ werden, nicht, wenn die Rotation durch richtungslose Tastendrücke erfolgt.⁶⁴ Ganz ähnlich lässt sich zeigen, dass Objekte, die interaktiv rotiert werden, anschließend leichter wiedererkannt werden als bei passiver Betrachtung – selbst dann, wenn in beiden Fällen die exakt gleiche Bildfolge zu sehen ist.⁶⁵

Über diese spezifischen Beispiele für den Einfluss von Handlungen auf die Wahrnehmung beim Interagieren hinaus gilt für die *Capture*-Effekte bei uneindeutiger Bewegung aber auch, was für alle Wahrnehmungssillusionen gilt: Sie machen sicht- oder messbar, wie Wahrnehmung im Allgemeinen funktioniert.⁶⁶ Action Capture zeigt also Effekte, die grundsätzlich involviert sind, wenn Wahrnehmen und Handeln in Beziehung treten – auch und gerade in der Interaktion. Es soll daher Anlass sein, *distance* und *engagement* direkter Interaktion erneut anzuschauen.

Wenn Hutchins, Hollan und Norman nach einem „account how particular properties might produce the feeling of directness“ suchen und als solchen einen „cognitive account“ liefern⁶⁷, übersehen sie vielleicht die offensichtliche Rolle, die das einfache Verhältnis von Aktion und Reaktion beim Entstehen des „feeling of directness“ spielen könnte. Ihre Annahme, in der direkten Manipulation würde direkt mit einer Modellwelt interagiert, ist jedenfalls schlicht und einfach

64 Glenn Gordon Smith und Sinan Olkun. »Why Interactivity Works: Interactive Priming of Mental Rotation«. In: *Journal of Educational Computing Research* 32.2 (2005), S. 93–111. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei Karin H. James, G. Keith Humphrey und Melvyn A. Goodale. »Manipulating and recognizing virtual objects: Where the action is«. In: *Canadian Journal of Experimental Psychology* 55 (2001), S. 111–122.

65 Karin L. Harman, G. Keith Humphrey und Melvyn A. Goodale. »Active manual control of object views facilitates visual recognition«. In: *Current Biology* 9 (1999), S. 1315–1318.

66 Leopold und Logothetis, »Multistable phenomena: changing views in perception«; Eagleman, »Visual illusions and neurobiology«.

67 Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 316.

falsch. Schließlich interagieren unsere Hände mit Gegenständen, die gerade nicht Teil der Modellwelt sind. Hierzu noch einmal Nake:

Wir bewegen das »Maus« genannte Kästchen auf einem Tisch, drücken eine daran befindliche Taste und betätigen gelegentlich eine Taste der vertrauten Tastatur. Wir beobachten aber gleichzeitig mit den Augen bildliche Effekte auf dem Bildschirm, die fast immer völlig synchron mit unseren Bewegungen verlaufen. Bald haben wir gelernt, beide Erscheinungen zu korrelieren. Wir stellen eine neue sensumotorische Einheit von Auge und Hand her [...]. Darin liegt die Berechtigung der Auffassung vom direkten Einwirken auf die Computerdinge – oder zumindest ihr Ansatzpunkt.⁶⁸

Es ist dieser Zusammenhang der Fast-Gleichzeitigkeit, der Action Capture begünstigt und der dafür sorgt, dass Handlungen und ihre Folgen fusionieren. Nicht zufällig weisen die Diskussionen von Direct Manipulation und vor allem Tangible User Interfaces genau in die Richtung der Experimente zu Action Capture: Die enge raum-zeitliche Verknüpfung von In- und Output unterstützt Direktheit genauso, wie sie Voraussetzung für *Capture*-Effekte ist. Schon bevor greifbare Schnittstellen die Vorlage liefern, *distance* und *engagement* raum-zeitlich zu verstehen, machen auch Shneiderman oder Hutchins, Hollan und Norman klar, dass Direktheit immer auch Geschwindigkeit heißt: „rapid [...] operations“⁶⁹ oder „rapid feedback“⁷⁰ begünstigt bei beiden das Erleben direkter Interaktion.

Und wenn Beaudouin-Lafon Interaktion von „indirection“, „integration“ und „compatibility“ abhängig macht, greift er nicht nur Fitts „S-R compatibility“ auf, sondern fundiert Interaktion direkt in den Parametern der Fast-Gleichzeitigkeit und engen räumlichen Verknüpfung, die Action Capture bestimmen: „distance“, „time difference“, „the ratio between the number of degrees of freedom“ und nicht zuletzt „the similarity between the physical actions of the users on the instrument and the response of the object“⁷¹ – sie alle verweisen auf die Ergebnisse der Experimente zum Einfluss von Handlungen auf die Wahrnehmung ihrer Folgen. Auch Laurel macht klar, dass Interaktivität nicht nur Resultat eines Kontinuums mehr oder weniger interaktiver Schnittstellen ist, sondern auch vom „tight coupling of kinesthetic input and visual response“⁷² abhängt.

68 Nake, »Von der Interaktion. Über den instrumentalen und den medialen Charakter des Computers«, S. 175.

69 Shneiderman, »Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages«, S. 490.

70 Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 333.

71 Beaudouin-Lafon, »Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces«, S. 449-450.

72 Laurel, *Computers as Theatre*, S. 20-21.

Wenn dagegen *engagement* als Folge des Handelns in und mit einer Modellwelt erklärt wird, steht dahinter wie gesehen die Annahme, dass diese Welt eben als Metapher funktioniert, weil sie die Natürlichkeit einer anderen imitiert. Die Diskussion von Action Capture weist aber auch hier einen neuen Weg: Denn so wie die erwartete Reaktion auf eine Aktion deren Wahrnehmung beeinflusst, kann dieser Effekt innerhalb gewisser Grenzen auch durch Training verändert werden. Bereits Fitts hatte *compatibility* als kontingente Ähnlichkeit im Bezug auf die Erwartungen und den Kontext seiner Versuchspersonen verstanden. Nähe und Natürlichkeit sind damit keine *a priori*, sondern die Natürlichkeit einer Modellwelt wäre erneut als Ergebnis einer Naturalisierung charakterisiert – nur diesmal auf Grundlage wahrnehmungspsychologischer Ergebnisse. Natürlich ist, was sich so verhält wie erwartet. Und Erwartung ist Resultat von Erfahrung. Natürliche Interaktion beruht demnach ebenfalls auf einem engen Zusammenhang von Wahrnehmen und Handeln, weil hier Reiz-Reaktions-Kopplungen verwendet werden, die vertraut sind – sei diese Vertrautheit nun Resultat des Bewohnens einer „realen“ Welt oder (im vermeintlichen Gegensatz dazu) antrainiert. Auch bei Hutchins, Hollan und Norman heißt es:

It is well known that when tasks are practiced sufficiently often, they become automated, requiring little or no conscious attention. As a result, over time the use of an interface to solve a particular set of problems will feel less difficult and more direct. [...] The result is a feeling of directness [...].⁷³

Deshalb können Metaphern wie der berühmte Papierkorb des *Mac OS* funktionieren – obwohl er zwar einerseits tatsächlich der Zwischenlagerung von Dokumenten vor ihrer Entsorgung dient, er andererseits aber auch zum Auswerfen von Datenträgern verwendet wird, die keinesfalls weggeworfen werden sollen. Der Handlungskontext hier mag zunächst auf eine „reale“ Welt rekurrieren, diese Referenz wird aber im Gebrauch durch eine Vertrautheit mit den Handlungszusammenhängen ersetzt, die dafür sorgen, dass der Papierkorb eben nicht wie ein Papierkorb verwendet wird, sondern im Sinne des Kontextes, dessen Teil er ist.

„Unterhalb“ solcher Überlegungen ergänzt Action Capture aber unser Wissen über Distanz oder Nähe direkter Manipulation und das Funktionieren von Interaktion im Allgemeinen, indem es Mechanismen aufzeigt, dank derer der subjektive Zusammenhang von körperlicher Aktivität und errechneter Reaktion enger gefasst wird, als dies physisch der Fall ist – weil sich hier jenseits der Reizgrundlage Planung und Ausführung von Bewegung und Erwartungen über

⁷³ Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 327.

ihre Folgen in deren Wahrnehmung einschreiben. Diese Mechanismen deuten an, warum das Bewegen eines kleinen „Kästchens“ auf einem Tisch und das Beobachten scheinbarer Bewegung auf einem Bildschirm als einheitliche Handlung erfahren werden. Action Capture weist damit auf ein physiologisches *grounding* des Erlebens von Interaktion hin. Dies soll in der Folge einerseits durch einen erneuten Blick auf Genealogien der Interaktion weiter untersucht werden, andererseits empirisch.

7.2.1 Ent-Kopplungen

Von der Brown Box zu Pong

Die Feststellung der Richter, *Pong* habe die Funktion und Mittel der *Brown Box* kopiert, mag nur bedingt berechtigt gewesen sein. Denn anders als *Pong* besitzt die *Odyssey* noch keine „systemische Geschlossenheit“⁷⁴, da sie um Folien für den Fernseher, Chips zum Zählen des Spielstands und sogar Schaltelemente ergänzt wird, die vor dem Spielen einzusetzen sind. *Pong* dagegen ist ein „Automat, der nichts anderes tat als Tennis zu spielen, Punkte zu zählen und neuerdings auch Geräusche zu machen.“⁷⁵ Der fehlende kommerzielle Erfolg der *Odyssey* ist also mit Sicherheit nicht nur dem Irrglauben anzurechnen, man müsse einen Fernseher von *Magnavox* besitzen, um mit ihr spielen zu können⁷⁶.

Neben der systemischen Geschlossenheit, die es möglich macht, dass *Pong* ohne begleitende Maßnahmen gespielt werden kann, lässt sich aber noch ein weiterer Punkt für den unterschiedlichen Erfolg beider Spielkonsolen verantwortlich machen: *Pong* ist spielbar. Das gilt nicht nur, weil jetzt ein Geräusch die Konditionierung im Rhythmus des Spiels unterstützt. Am Übergang von *Odyssey* zu *Pong* steht darüber hinaus die Optimierung der Eingabemöglichkeiten im Sinne der Direktheit von Action Capture.

Als nämlich Baer an der *Brown Box* arbeitet, nutzt er zunächst zwei Drehregler, um die Koordinaten eines Punktes auf der Mattscheibe eines Fernsehers zu steuern. Diese Konfiguration ist technisch naheliegend und repliziert direkt, was die Radartechnik vormacht. Der Ingenieur Baer verwendet sie unverändert als Grundlage sowohl des rudimentären Verfolgerspiels als auch des „respectable ping pong game“. In den Controllern der *Brown Box* werden die Drehregler so verbaut, dass der Regler für die horizontale Bewegung auf dem Controller

⁷⁴ Vergleiche hierzu Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 82.

⁷⁵ Ebd.

⁷⁶ Zwar mag dieser Irrglaube ein Stück weit berechtigt gewesen sein, weil die Bildschirmfolien natürlich auf die entsprechenden Fernseher auch passen müssen. Andererseits bewirbt eine Anzeige von *Magnavox* aus dem Jahr 1972 das Produkt mit den Worten „ODYSSEY is an electronic game simulator that easily attaches to any 18 to 25 inch (diagonal) television“ <http://www.magnavox-odyssey.com/Advertising.htm>, zuletzt abgerufen am 19.8.2014.



Abbildung 36: Controller der *Brown Box* und *Odyssey* (Fotos: Stephan Kambor/pong.mythos, gemeinfrei).

sitzt, der Regler für die vertikale dagegen an dessen Seite (Abbildung 36). Damit müssen nicht nur beide Hände für die Steuerung der Position eines „Schlägers“ eingesetzt werden, die Achsen der Bewegung stimmen darüber hinaus weder mit denen auf dem Bildschirm überein, noch liegen sie wenigstens in derselben Ebene – wie es für die x- und y-Bewegung des Schlägers gilt. Zusätzlich besitzt die *Brown Box* noch einen dritten Drehregler, der neben dem für die horizontale Bewegung des Schlägers angebracht ist, aber einen völlig anderen Zweck erfüllt. Er nimmt keinen Einfluss auf den Schläger, sondern gibt dem Ball einen „English“ genannten Effekt auf den Weg.

Diese Konfiguration ist nicht nur verwirrend und schwierig zu bedienen, sondern läuft auch den Regeln einer Fusion von Handlung und Wahrnehmung im Sinne von Action Capture zuwider und erschwert damit eine schnelle Normalisierung der Spielenden. In der *Odyssey* wird sie insofern verbessert, als dass hier die Vertikal- und Horizontalregler symmetrisch rechts und links vom Controller angebracht werden.⁷⁷ Damit wird die mögliche Verwirrung sicherlich verkleinert, trotzdem sind Drehachsen und Lage im Raum noch immer nicht die der Bewegung auf dem Bildschirm. Der Regler für das *English* des Balls wird nun auf dem Regler der Horizontalkomponente angebracht, was zumindest das Umgreifen erleichtern dürfte und vor allem *English* und die für ein Ping-Pong-Spiel weniger wichtige

⁷⁷ Levi Buchanan. »Odyssey: 35 Years Later«. In: *Imagine Games Network (IGN)* (2007). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: <http://www.ign.com/articles/2007/05/04/odyssey-35-years-later-2>.



Abbildung 37: Controller von *Pong* und *Home Pong* (Fotos: Rob Boudon/Flickr, Evan Amos/Wikipedia).

horizontale Bewegungsachse auf derselben Seite des Controllers kombiniert (Abbildung 36).

Pong von *Atari* wird dagegen einen einzigen Drehregler verwenden. Der „Schläger“ des Spiels bewegt sich ausschließlich vertikal und der Drehregler ist in der ursprünglichen Automatenversion des Spiels noch dazu annähernd in derselben Ebene angebracht, in der die kontrollierte Bewegung zu sehen ist (Abbildung 37). Auch die *Pong*-Version für den heimischen Fernseher besitzt für jeden Spieler einen einzigen Regler, eine einzige Bewegungsachse auf dem Bildschirm und eine weniger deutliche aber immer noch relativ große Übereinstimmung ihrer Lagen im Raum. *Pong* stellt also eine Optimierung der *Odyssey* in Bezug auf die Faktoren dar, die ein Action Capture zwischen der Hand am Drehregler und dem Licht auf dem Bildschirm begünstigen und die damit die Aktivität der Hand mit der des Spiels zu vereinen helfen (Abbildung 37).

Daneben stellt bereits diese Genealogie die Rolle natürlicher Metaphern insgesamt in Frage. *Pong* entfernt sich viel weiter von der Tischtennismetapher, als dies bei der *Odyssey* der Fall ist – wodurch sich paradoxerweise und im Gegensatz zu kognitivistischen Modellen direkter Interaktion die Spielbarkeit erhöht. Denn während beim Tischtennispielen auf der *Odyssey* der Ball verloren ist, wenn er den Rand des Bildschirms verlässt (und damit außerhalb der Platte auf den Boden fällt), verhalten sich die Ränder des „Tisches“ bei *Pong* ganz und gar unrealistisch: Hier prallt der Ball am oberen und unteren Bildschirmrand ab und bleibt im Spiel.

Damit wird klar, dass es gerade nicht eine vorauszusetzende Natürlichkeit realweltlicher Metaphern ist, die das Spiel zu einer der „most exciting, well engineered – certainly, the most successful, application of direct manipulation“⁷⁸ macht. Vielmehr wird diese Rekonfiguration der eigentliche Grund für den Erfolg der Konsole sein:

[W]hat distinguishes Bushnell's design and Alcorn's implementation is that the gameplay in *Pong* was pared down to just up/down paddle movements, with any »English« (really just a sudden change in direction) merely a result of where the ball strikes the paddle. Also, unlike Table Tennis [auf der *Odyssey*], which tries to adhere to most of the rules of Ping-Pong by making balls hit to the top or bottom of the screen fly »off the table,« the top and bottom of *Pong*'s screen function as walls that bounce the ball off them.⁷⁹

Trotz seines Verweises auf die vorbildliche Direktheit von *Pong*, vergisst Shneiderman interessanterweise nicht nur diesen laxen Umgang mit dessen realweltlichen Vorbild zu erwähnen, vor allem versäumt er zu klären, wieso hier überhaupt das Drehen eines Rades neben oder unter einem Bildschirm und die scheinbare Bewegung darauf als direktes Handeln in einer Spielwelt der Bälle und Schläger wahrgenommen werden sollte.

Wenn mit *Pong* das Computerspielen schrittweise entgegen realweltlicher Metaphern und im Sinne einer Verbesserung von Action Capture optimiert wird, geschieht das ausgerechnet in einem Prozess, der aus der (teil-)analogen *Brown Box* einen Digitalrechner macht. Ungeachtet der Frage, ab wann genau wir es hier mit einem unterbrechbaren Digitalrechner und damit einer Feedbackmaschine zu tun haben, ist die *Brown Box* zunächst noch offensichtlich ein Regelkreis. *Pong* dagegen ist eine symbolische Maschine. Während dabei die Repräsentation auf dem Bildschirm ihre intrinsische Kopplung an das Bedienen ihrer Controller verliert, weil sie symbolisch und arbiträr wird, stellt *Pong* ganz offensichtlich den Versuch dar, diese intrinsische Kopplung wieder herzustellen. Zu dieser Reformulierung vormals analoger – und vor allem indexikalischer – Zusammenhänge setzt *Pong* auf die Fähigkeit des sensomotorischen Apparats des Menschen, die Action Capture so deutlich macht: die Fähigkeit, Handlungen und die Wahrnehmung ihrer Folgen zu fusionieren. Weil *Pong* diese Fähigkeit unterstützt, erfolgt die Akkomodation an das Spiel schneller und nachhaltiger als an der *Odyssey*. Ihr Ergebnis ist eine

⁷⁸ Shneiderman, »Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages«, S. 488.

⁷⁹ Matt Barton und Bill Loguidice. »The History Of Pong: Avoid Missing Game to Start Industry«. In: *Gamasutra* (2009). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: http://www.gamasutra.com/view/feature/3900/the_history_of_pong_avoid_missing_.php.

Art „Quasi-Indexikalität“, die aber nicht länger nur Eigenschaft der Schnittstelle, sondern Eigenschaft der zirkulären Verschaltung von naturalisierter Schnittstelle und im Bezug auf diese Schnittstelle normalisiertem User ist – einer zirkulären „Gleichschaltung“, dank der sich das Drehen des Reglers in einer unmittelbaren Erfahrung der eigenen Wirksamkeit auf dem Bildschirm äußern kann.

Ist diese Quasi-Indexikalität erst etabliert, kann die Kopplung darauf aufbauend wieder gelockert werden – wobei die experimentell gezeigte Adaptivität von *Capture*-Effekten zum Tragen kommt. Dieser Prozess der Kopplung und Entkopplung lässt sich zum Beispiel an der Geschichte der Maus verfolgen.

Von Whirlwind zum Touchscreen

Anders als dies die Fortschrittsgeschichten immer interaktiverer Schnittstellen nahelegen mögen, beginnt die Computerbedienung an *Whirlwind* mit der Light-Gun und einer denkbar engen raum-zeitlichen Kopplung von dem, was zu sehen ist und dem, was getan wird. Diese Kopplung wird Ivan Sutherland sehr früh noch enger ziehen, als er mit dem berühmten *Sketchpad*⁸⁰ erstmals den Bildschirm einer Feedbackmaschine zum Zeichnen einsetzt.⁸¹ Sutherland koppelt den „light-pen“ oder „Lichtgriffel“ (eine Light-Gun kleinerer und leichter Bauart) eines TX-2 (eines der direkten Nachfahren von *Whirlwind*) so an die symbolische Darstellung auf dessen Monitor, dass beide noch viel enger zusammenrücken als Light-Gun und Bildschirm von *Whirlwind* und SAGE – indem die Position des Lichtgriffels auf dem Bildschirm gedoppelt wird.

Da der Lichtgriffel Licht nur empfangen, es nicht aber senden kann, muss an seinem jeweils aktuellen Ort Licht vorhanden sein, wenn etwas geschehen soll. Er bliebe sonst blind. Ein kennzeichnendes Zeichenelement muss stets angezeigt werden, sagen wir etwa ein kleines Kreuz, das wir *tracking cross* nennen wollen [...].⁸²

Mit dieser Dopplung von Lichtgriffel und *tracking cross* wiederholt sich die Verdopplung, die der Reduktion von der Welt zum Signal inhärent ist: „Das Zeigegerät existiert als ein Doppeltes: physikalisch in der Hand, semiotisch vor dem Auge.“⁸³ Die Grundlage der Benutzung beider technisch völlig unterschiedlicher Komponenten als ein einziges Zeige- und Zeichengerät besteht in der subjektiven Fusion beider Komponenten durch ihren Gebrauch – ihrem Zusammenfallen als motorische Handlung und daran gekoppelte Reaktion bei

80 Ivan E. Sutherland. »Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System.« Diss. Massachusetts Institute of Technology, 1963.

81 *Sketchpad* führt neben der hier besprochenen zahlreiche weitere Innovationen ein. Vergleiche Nake, »Zeigen, Zeichnen und Zeichnen. Der verschwundene Lichtgriffel«.

82 Ebd., S. 137.

83 Ebd., S. 140.

hoher raum-zeitlicher Übereinstimmung. „In diesem physikalisch-kognitiven Doppelpack findet durch ständig miteinander verschränkte Hand- und Augenaktivität alles seinen konzentrierten Ausdruck, was den Computer (das laufende Programm) vom Fernseher, ja gar vom Telefon unterscheidet.“⁸⁴ Hier wird „Virilios rasender Stillstand“⁸⁵ im permanenten Zeichnen des Zielkreuzes und Messen seiner Lichterscheinung ganz schlicht technische Grundlage der Möglichkeit, mit der Hand auf den Bildschirm zu zeichnen.

Wenige Jahre später setzt Engelbart dagegen auf eine Kopplung, die weniger direkt ist und gerade deswegen – ganz im Sinne des H-LAM/T – erst trainiert werden muss. Licklider wird sich über diese Entkopplung, die zwischen *Sketchpad* und dem NLS steht, ähnlich verwundert zeigen, wie bereits über die Persistenz aufrecht stehender Monitore:

A mouse works with a hand offset from the target, from the work. Herb Jenkins at the Lincoln Laboratory back in the early 1950s did studies to determine how various data-take-off arrangements depended upon how much offset there was between the hand and the work [...]. The studies showed it was bad, by a factor of two, to have an offset of eight or ten inches. And yet, that seems not to have affected the popularity of the mouse device. I know 20 people who use mice for every person who uses a light pen; I can't understand that, but it seems to be true.⁸⁶

Bedenkt man aber, dass der Einfluss motorischer Aktivität auf die Wahrnehmung durch akkomodierendes Training verändert werden kann, erschließt sich, dass Engelbart hier eine neue Kopplung etabliert, die zwar erlernt werden muss, dadurch aber als kein Stück weniger direkt erlebt wird.

Was er dazu benötigt, findet er in der engen Kopplung bei Sutherland. Das *tracking cross* des *Sketchpad*⁸⁷ und die damit eingeführte Dopplung machen es plötzlich möglich, dass sich das Zeigegerät physisch an einem völlig anderen Ort befinden kann, als der Ort auf den es einwirkt. Im NLS wird es zum „tracking mark“⁸⁸. Es macht die Folgen einer Handlung auf (oder im Falle des Kniegeräts: unter) dem Tisch an der Oberfläche eines Bildschirms sichtbar. Der Ort dieser Handlung verlagert sich damit, wie an der oben beschriebenen Variante des Simon-Effekts gesehen, an den Ort ihrer Wirkung. Die Maus-

84 Nake, »Zeigen, Zeichnen und Zeichen. Der verschwundene Lichtgriffel«, S. 140.

85 Der diesmal nicht als Simultan- ϕ -Funktion auftritt, sondern als Kurzschluss von Lichtgriffel und Lichterscheinung. Ebd., S. 132.

86 Licklider, »Some Reflections on Early History«, S. 119.

87 Tatsächlich bezieht sich Engelbart bereits 1962 auf die gleichzeitig stattfindende Arbeit Sutherlands. Engelbart, *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*, S. 72.

88 English, Engelbart und Berman, »Display-Selection Techniques for Text Manipulation«, §1c3.

bewegung auf dem Tisch wird so zur Bewegung des *tracking mark* – und bis heute des Mauszeigers. Auswahlbewegung und Drücken einer Taste werden zusammen zum „Anklicken“.

Die einfache technische Anforderung, einen lichtempfindlichen Unterbrecherkontakt für eine Feedbackmaschine dafür einzusetzen, das Licht, auf das er reagiert, erst erscheinen zu lassen, führt mit dieser Dopplung ganz nebenbei die Grundlage der Kopplungen ein, die die darauf folgenden Jahrzehnte der Mensch-Computer-Interaktion prägen werden. Sie findet sich genauso im Drehregler und Schläger bei *Pong* wieder, wie im Paar aus Maus und Zeiger. Und auch der modernste Vertreter „natürlicher“ Game-Controller – die Kamerasteuerung der *Kinect* –, funktioniert nur, weil der Mensch, dessen Bewegung hier von der Kamera verfolgt und zur Steuerung des Spiels eingesetzt wird, in diesem Spiel wieder als Figur zu sehen ist.

Wenn dank heutiger Touchscreens das räumlich entkoppelte Paar aus Maus und aufrecht stehendem Monitor zu verschwinden scheint, scheinen wir zwar zur engen Kopplung von Geste und Darstellung bei *Whirlwind* oder *Sketchpad* zurückzukehren. Tatsächlich stellen aber auch Touchscreens nur eine mittelbare Rückkehr zum Lichtgriffel dar. Ihr Erfolg und ihre Bedienbarkeit hängen hingegen auch damit zusammen, dass die Gesten der Bedienung via Touchscreen zumindest teilweise erst durch die Maus naturalisiert worden sind. Dies zeigt ein kurzer Blick auf das Scrollen von Text.

Anders nämlich als beim „natürlichen“ Blättern eines Buches wird Text auf Bildschirmen heute fast immer nicht seitenweise, sondern kontinuierlich navigiert. Während dies historisch zunächst durch das Drücken von Knöpfen der Tastatur geschieht, führen Systeme wie das XEROX *Star* die grafischen Bedienelemente auf dem Bildschirm ein, die bis heute als Pfeile und Scrollbalken neben jedem Dokument stehen, das mehr Platz benötigt, als sein virtuelles Fenster zur Verfügung stellt.⁸⁹

Dabei sind diese Pfeile im *Star* genau andersherum angeordnet als bei den meisten zeitgenössischen Betriebssystemen. Sie weisen nach innen und zeigen damit, dass das Verhältnis von Scrollrichtung und Richtung der Pfeile nicht „natürlich“ sein kann, weil stets unklar ist, ob sich die Pfeile auf die Bewegung des Textes oder des Blicks auf diesen Text beziehen: „In the *Star* interface the arrows pointed in the direction the text would move in the window, the current designs point in the direction the window will move in the document.“⁹⁰ Die Selbstverständlichkeit, mit der solche Bedienelemente benutzt werden, erweist sich so erneut als Folge der Erzeugung von Direktheit durch Training.

89 Vergleiche hierzu und zum Folgenden Alan Dix. »Hands Across the Screen – why scrollbars are on the right and other stories«. In: *Interfaces* 37 (1998), S. 19–22.

90 Ebd.

Vor allem aber werden solche Bedienelemente auf dem Bildschirm von frühen Benutzern trotz ihrer vermeintlichen Natürlichkeit nicht unmittelbar angenommen.⁹¹ Zwar macht das *Keystroke-Level Model* die Vorhersage, dass bei der Arbeit mit der Maus das Scrollen per Maus einen Vorteil darstellen müsste, weil so das Umgreifen von der Maus zur Tastatur und die entsprechende *homing*-Bewegung im Sinne des Modells entfällt.⁹² In einem frühen experimentellen Interface, das diesen Effekt testen soll, zeigt sich aber Erstaunliches: Die Benutzer, die das System ohne Anweisung nutzen, scrollen nicht freiwillig mit der Maus. Denn das Bewegen des Mauszeigers zur virtuellen Pfeiltaste verlangt ein Umfixieren des Blicks auf diese Pfeiltaste, womit die das Scrollen antizipierende Fixation unmöglich wird, die den Blick an der gerade gelesenen Textstelle trotz ihrer Bewegung „festhält“. Der Text muss refixiert werden, was der notwendige Blick auf die Pfeiltaste erschwert: „This positioning task appeared to interfere with the ability to re-fixate.“

Die Tatsache, dass in der engen Verknüpfung von Handlung und Wahrnehmung immer auch solche Handlungen wichtig sind, die – wie die Augenbewegungen am Bildschirm – aktiv ausgelöste Veränderungen der Umwelt kompensieren, wird im Kapitel 8 noch eine wichtige Rolle spielen. Ihre Konsequenz besteht zunächst aber in Optimierungen bei der Platzierung von Pfeiltasten und Scrollbalken, und später dann in der Einführung des Mauseisens, das ein Scrollen mit der Maus ermöglicht ohne ein Umfixieren des Blicks zu benötigen. Dem User aber, der im Sinne dieses Scrollens an der Maus normalisiert wurde, kann man nun mit Leichtigkeit das wischende Scrollen an einem Touchscreen als Ersatz für das Mauseisen bieten. Zugleich wird die Geste nach ihrer Einführung umgehend wieder auf solche Situationen übertragen, in denen Hand und Ort der Handlung wieder auseinandertreten – wenn die wischende Scrollgeste auf den Touchpads von Laptops ermöglicht wird. Diese Entwicklung macht mit Mauseisen, Touchpad und -screen schließlich die grafischen Pfeiltasten vollständig überflüssig, so dass zum Beispiel *Mac OS X Lion*, einer der Urenkel des *XEROX Star*, im Jahr 2011 erstmals vollständig auf sie verzichtet.

Zumindest wenn sie „direkt“ erfolgt, ist Interaktion also abhängig von den Prozessen, die Handeln und Wahrnehmen miteinander verknüpfen, weil sich das eine in das andere einschreibt. Durch die Fusion beider stellt sie eine Art Quasi-Indexikalität her, die Mensch und Computer in einem Verhältnis wechselseitiger Kontrolle entwickeln und die durch Training erzeugt und verändert werden kann – womit sich Hände und Bilder einander nähern und voneinander entfernen können, ohne die Direktheit ihrer Interaktion einzubüßen.

⁹¹ Zum Folgenden vergleiche Dix, »Hands Across the Screen – why scrollbars are on the right and other stories«.

⁹² Vergleiche hierzu 5.3.1.

7.2.2 Interaktion und Ähnlichkeit

Die Kompatibilität von Stimulus und Antwort bei Fitts lässt nicht von ungefähr an Rafaelis Definition von Interaktivität denken. Wenn *S-R compatibility* misst, wie sehr sich S und R ähneln, wie eng also Input und Output eines Systems zusammenhängen, dann beschreibt der Begriff etwas ganz Ähnliches zu dem rekursiven Bezug von Nachrichten aufeinander, der nach Rafaeli Interaktivität ausmacht. Auch Beaudouin-Lafons Überlegungen zur Rolle, die Kompatibilität – als Ähnlichkeit zwischen Handlung und Reaktion – für Interaktion spielt, weist in diese Richtung. Das Kontinuum der Interaktivität, von dem die Human-Computer Interaction in ihrer eigenen Geschichtsschreibung offensichtlich ausgeht, ließe sich so als ein solches verstehen, in dem interaktiverer Systeme die Kompatibilität von In- und Output maximieren.

Die Idee, dass die Entwicklung interaktiverer Systeme und „natürlicherer“ Interaktionsformen darauf abzielt, den Zusammenhang von Handeln und Wahrnehmen, den Action Capture aufzeigt, zu verbessern, wurde hier bisher anhand von Beispielen (wie der Geschichte der Eingabegeräte von *Pong*) gezeigt, wie auch anhand der Versuche, mit Begriffen wie „distance“ und „engagement“ oder „indirection“, „integration“ und „compatibility“ die Interaktivität unterschiedlicher Schnittstellen zu beschreiben⁹³.

Fasst man Kompatibilität nun als Ähnlichkeit von Reiz und Reaktion auf, und geht man davon aus, dass Interaktivität eine Funktion dieser Ähnlichkeit ist, steht ein Indikator für Interaktivität zur Verfügung, mit dem sich dieser Zusammenhang empirisch überprüfen lässt: Interaktiverer Interaktionen wären dann als solche höherer Ähnlichkeit von Stimulus und Antwort definierbar. Und je interaktiver das Interagieren in diesem Sinne abläuft, von desto stärkeren *Capture*-Effekten müsste es begleitet sein. Jenseits der bloßen Unterscheidung raum-zeitlicher Distanzen oder Lagen im Raum müsste sich so zeigen, dass tatsächlich die Handlungen mit einem kleinen Kästchen auf einem Tisch genau dann besser mit den errechneten Reaktionen darauf verschmelzen, wenn sie diesen „ähnlicher“ sind.

Natürlich ist auch „Ähnlichkeit“ ein kaum fassbarer Begriff. Geht man aber gewissermaßen vor die implizite Übernahme des Shannon'schen Modells in die Kommunikationswissenschaften zurück (die bei Rafaeli zum Beispiel zu beobachten ist) und konzentriert sich ausschließlich auf dessen ursprüngliche Anwendung auf die interpretations- oder bedeutungsfreien Signale, die an der Unterfläche der Interaktion vorliegen, wird das Problem lösbar: Denn auf der Signalebene wird die Ähnlichkeit von Ein- und Ausgabe einer Feedbackmaschine messbar – zum Beispiel mit Hilfe der Kreuzkorrelation, die als Autokorrelation schon im Herzen von Wieners *Anti-*

⁹³ Vergleiche 5.4.2.

Aircraft Predictor steht und die die Ähnlichkeit zweier Zeitreihen als Funktion ihrer Zeitverschiebung τ misst.⁹⁴ Unter Rückgriff auf das methodische Repertoire der Kybernetik lässt sich so die Frage nach der Ähnlichkeit von Reiz und Reaktion operationalisieren.

Um den Einfluss dieser Ähnlichkeit auf Action Capture empirisch zu untersuchen, habe ich ein Experiment durchgeführt. In diesem habe ich Versuchspersonen mit uneindeutiger scheinbarer Bewegung und deren Steuerung durch eine Maus konfrontiert. Das Experiment repliziert in beinahe allen Parametern (wie Art und Größe der Stimuli, Bildwiederholrate der stroboskopischen Bewegung, Zeiten zwischen Mausbewegung und Beginn der scheinbaren Bewegung usw.) die Studie Wohlschlägers⁹⁵, versucht aber nicht zu zeigen, *dass* ein *Capture*-Effekt vorliegt, sondern dass er systematisch mit der Ähnlichkeit von In- und Output variiert. Anders als in den vorangegangenen Experimenten zu Action Capture setzt dieses Experiment mit der Verwendung von Maus und Bildschirm dabei auf eine Situation, die noch viel deutlicher dem Alltag der Computerbedienung entspricht und die direkt die Studien aufgreift, die zur Durchsetzung der Maus geführt haben. Dank des alltäglichen Umgangs mit dieser Konfiguration ist hier – trotz aller Skepsis, mit der Licklider der räumlichen Trennung von Hand und Bildschirm begegnet – die zu erwartende Ähnlichkeit (im Sinne Fitts' „basic habits or expectancies“⁹⁶) von der Bewegung auf dem Tisch und der scheinbaren Bewegung auf dem Bildschirm absolut eindeutig.

Wie bei Wohlschläger bestehen die Stimuli aus je einem unsichtbaren Kreis, auf dem im Abstand von 60° sechs dunkel gefüllte Kreise angeordnet sind. Zwischen jedem Frame scheinbarer Bewegung wird dieser Kreis, bei einer Bildwiederholrate von 6.25 Hz, um α Grad gedreht (Abbildung 32). Die so entstehende stroboskopische scheinbare Bewegung ist in jedem Fall uneindeutig, tendiert für $\alpha < 30^\circ$ aber in Richtung Uhrzeigersinn, für $\alpha > 30^\circ$ in die Gegenrichtung. Um die Stimuli auszulösen, müssen die Versuchspersonen bei gedrückter linker Maustaste eine Kreisbewegung mit der Maus beschreiben. Zuvor wird (wie bei Wohlschläger) durch einen Pfeil die Richtung der Bewegung vorgegeben. 280 ms nach dem Herunterdrücken der Maustaste wird der scheinbar rotierende Stimulus gezeigt, bis die Versuchsperson die Maustaste loslässt oder 5120 ms vergangen sind. Anschließend wird die Versuchsperson nach der wahrgenommenen Bewegungsrichtung des Stimulus gefragt. Während für die Mausbewegung die rechte Hand verwendet wird, erfolgt die Antwort auf die Frage durch den Druck auf eine von zwei Tasten auf der Tastatur mit der linken. Für jede Versuchsperson besteht das Experiment aus zwölf Durchläufen für die Winkel

94 Vergleiche 2.4.1.

95 Wohlschläger, »Visual motion priming by invisible actions«.

96 Fitts und Seeger, »S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes«, S. 208.

$\alpha \in \{20^\circ, 24^\circ, 27^\circ, 29^\circ, 30^\circ, 31^\circ, 33^\circ, 36^\circ, 40^\circ\}$ und damit insgesamt 108 Einzelversuchen in randomisierter Reihenfolge. In jedem Durchlauf wird nicht nur die vorgegebene Bewegungsrichtung der Maus und die Antwort auf die Frage nach der wahrgenommenen Bewegungsrichtung protokolliert, sondern auch die tatsächliche Mausbewegung und eine ideale Kreisbewegung im Sinne der vorgegebenen Drehrichtung und Dauer und Winkelgeschwindigkeit des aktuellen Stimulus (beides gemessen in Bildschirmkoordinaten und aufgezeichnet als zweidimensionale Zeitreihe, abgetastet mit 100 Hz).

Die Versuchspersonen sind 14 Designerinnen und Designer, beziehungsweise Kunst- und Designstudentinnen und -studenten, die täglich mit Bildschirm und Maus arbeiten und dabei die Maus mit der rechten Hand bedienen.⁹⁷

Zur Auswertung dieses Experiments habe ich zunächst die aufgezeichnete Bewegung der Maus mit der idealen Kreisbewegung über die normierten Kreuzkorrelationen der jeweiligen x- und y-Komponente verglichen⁹⁸. Die Messungen aller Versuchspersonen habe ich nun nach dem Maximum⁹⁹ ihrer jeweiligen Kreuzkorrelationen sortiert und gegen die Frage abgetragen, ob die entsprechende Messung aus einem Durchlauf stammt, in dem die wahrgenommene Bewegungsrichtung im Sinne der Handlungsanweisung angegeben wurde (wir also von einem *Capture* sprechen können) oder nicht.

Eine Überprüfung der Korrelation zwischen der kontinuierlichen Kreuzkorrelation und der dichotomen Frage nach der Übereinstimmung von Handlung und Wahrnehmung zeigt, dass Kreuzkorrelation und Action Capture hochsignifikant ($p < 0,0001$) miteinander korrelieren.¹⁰⁰

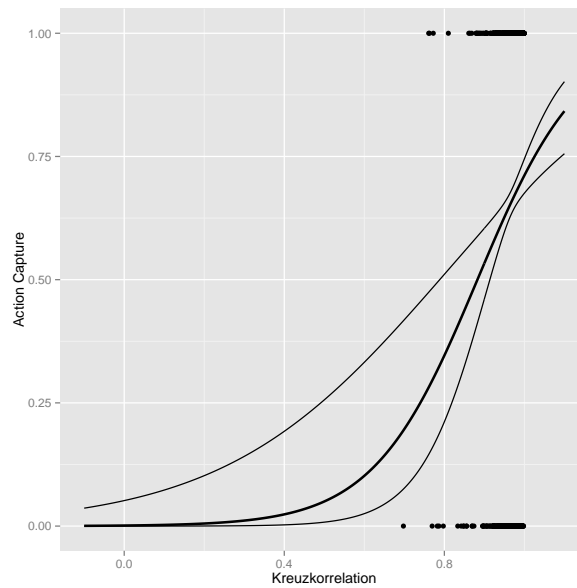
Um ein Modell der Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit eines *Capture*-Effekts von der Ähnlichkeit von Mausbewegung und Kreisbewegung des Stimulus zu erhalten, habe ich anschließend eine logistische

97 Von den 14 Versuchspersonen sind sechs weiblich. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Experiments beträgt 30 Jahre (sowohl im Mittelwert als auch im Median, die Standardabweichung beträgt 3,73 Jahre) und alle Versuchspersonen verfügen über normale (oder korrigierte) Sehfähigkeit.

98 Wobei die Implementierung der normierten Kreuzkorrelation durch die *Signal Processing Toolbox* der Software *Matlab* zum Einsatz kommt, vergleiche <http://www.mathworks.de/de/help/signal/ref/xcorr.html>, zuletzt abgerufen am 19.8.2014.

99 Als die halbierte Summe der Kreuzkorrelationen in x und y an der Stelle τ , an der diese maximal wird.

100 Als Maß kommt hier die punktbiseriale Korrelation zwischen einem intervallskalierten und einem dichotomen Merkmal zum Einsatz, die ein Spezialfall der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson ist. Vergleiche hierzu Jacob Cohen u. a. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. 3. Aufl. Mahwah, NJ und London: Lawrence Erlbaum Associates, 2003, S. 29-30.



Abbildungung 38: Einfluss der Kreuzkorrelation von Mausbewegung und perfekter Kreisbewegung eines im Sinne der Aufgabe drehenden Stimulus auf die Übereinstimmung der Drehrichtung von wahrgenommener und ausgeführter Bewegung (Action Capture). Darstellung der empirischen Daten und der Modellierung der Wahrscheinlichkeit von Action Capture durch eine logistische Regression (inklusive 95%-Konfidenzintervall).

Regression durchgeführt.¹⁰¹ Die Regression ergibt einen Zusammenhang der Form

$$y = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}}$$

wobei der Koeffizient β_1 den Einfluss der (als Kreuzkorrelation bestimmten) „Ähnlichkeit“ von Maus- und scheinbarer Bewegung auf die Wahrscheinlichkeit von Action Capture modelliert.

Das Ergebnis der Regression¹⁰² weist mit den Koeffizienten $\beta_0 = -6,793$ und $\beta_1 = 7,696$ auf einen Zusammenhang hin, nach dem tatsächlich die Wahrscheinlichkeit für einen Einfluss der Handlung auf die Wahrnehmung mit der „Ähnlichkeit“ von In- und Output steigt (Abbildungung 38). Der (oft als „Intercept“ bezeichnete) konstante Term β_0 gibt dabei lediglich an, dass für kleine Kreuzkorrelationen die Wahrscheinlichkeit eines *Capture*-Effektes sehr klein wird.

¹⁰¹ Zu diesem Verfahren und der statistischen Bewertung der Güte von Koeffizienten und Gesamtmodell einer logistischen Regression vergleiche Cohen u. a., *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*, S. 482-532, sowie Chao-Ying Joanne Peng, Kuk Lida Lee und Gary M. Ingersolla. »An Introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting«. In: *The Journal of Educational Research* 96.1 (2002), S. 3-14.

¹⁰² Durchgeführt mit der Funktion *glm* des Open-Source-Statistiksoftwarepakets R, <http://www.r-project.org/>, zuletzt abgerufen am 19.8.2014.

Güte der Koeffizienten					
Koeffizient	β	Standardfehler	Wald χ^2	df	p
Intercept β_0	-6,793	1,982	11,7	1	0,0006
Kreuzkorrelation β_1	7,696	2,049	14,1	1	0,0002

Güte des Gesamtmodells			
	χ^2	df	p
Likelihood-Quotienten-Test	14,717	1	0,0001

Tabelle 2: Güte von Koeffizienten und Gesamtmodell der logistischen Regression der Auswirkung der Kreuzkorrelation von Hand-/Mausbewegung auf dem Tisch und scheinbarer Kreisbewegung auf dem Bildschirm (als unabhängige Variable) auf die abhängige Variable Action Capture.

Auch hier zeigt sich (nach einem Wald- χ^2 -Test): Der Koeffizient β_1 , der den Einfluss der Kreuzkorrelation auf Action Capture modelliert, ist hochgradig signifikant ($p < 0.001$) im Gegensatz zum „Null-Modell“ keines Zusammenhangs (das lediglich den „Intercept“ β_0 enthält, während $\beta_1 = 0$ gesetzt wird). Ähnliches ergibt ein Likelihood-Quotienten-Test, mit dem sich die Güte des Gesamtmodells abschätzen lässt (Tabelle 2).

Das Experiment legt damit nahe, dass eine größere Ähnlichkeit von Handlung und errechneter Reaktion tatsächlich unterstützt, dass sich die Handlung in die Wahrnehmung der Reaktion einschreibt. Wie zu erwarten wirkt sich die Kompatibilität von In- und Output, die immer im Sinne der Erwartungen von Versuchspersonen oder Benutzern zu verstehen ist, auf die Wahrnehmung der Folgen der eigenen Handlungen aus und es scheint tatsächlich zu gelten, was die künstlerischen Experimente der Reihe „Paidia Laboratory: feedback“¹⁰³ nahelegen: In- und Output interaktiver Systeme hängen oft so eng zusammen, dass sich das eine im anderen finden lässt – so dass in Extremfällen jeder (menschliche) Eingriff in den Kurzschluss von In- und Output überflüssig werden kann. Über ein *Common Coding* oder noch unbekannte Mechanismen der Beeinflussung von dem, was wir tun und dem, was wir wahrnehmen, werden Hand- beziehungsweise Mausbewegung und scheinbare Bewegung auf dem Bildschirm eins und aus zwei Prozessen, zwischen denen eine raum-zeitliche Distanz, sowie Algorithmen, Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandlung stehen, wird Interaktion. Da dieser Zusammenhang graduell ist und mit steigender „Ähnlichkeit“ ebenfalls ansteigt, scheint die eigene Handlung hier gewissermaßen in die Wahrnehmung ihrer Folgen hineingerechnet zu werden, was die Vermutung nahelegt, dass sich das subjektive

¹⁰³ Vergleiche 6.2.2.

„feeling of involvement“¹⁰⁴ zumindest in Teilen als Effekt der Mechanismen erweisen könnte, die hinter Action Capture stehen. Diese Mechanismen des „Rechnens“ mit der eigenen Aktivität, sowie deren Konsequenzen für die Welten, von denen beim Interagieren die Rede ist, sind allerdings noch genauer anzuschauen und sollen Gegenstand der folgenden Kapitel sein.

¹⁰⁴ Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 332.

Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts stellt Henri Poincaré klar: der Raumbegriff der Geometrie und die Erfahrung von Räumlichkeit sind nicht alleine in der Physiologie der Wahrnehmung begründet. Sie setzen vielmehr die Fähigkeit voraus, sich zu bewegen. Aber auch Wahrnehmung und Bewegung alleine reichen zur Konstruktion von Räumlichkeit nicht aus. Erst das Erlernen ihres gesetzmäßigen Zusammenhangs ermöglicht unseren Raumbegriff. Dazu aber müssen Bewegung und Wahrnehmung intern verglichen werden können. Bereits Ernst Mach schlägt diesen Vergleich als rechnerischen Vergleich antagonistischer Innervationen vor, womit er ein unvollständiges, aber proto-kybernetisches Modell der Wahrnehmung von Bewegung formuliert. Um 1950 wird dieses Modell mit der Formulierung des „Reafferenzprinzips“ und des Prinzips des „corollary discharge“ in der Physiologie vervollständigt. Die These des internen Vergleichs motorischer Aktivität mit wahrgenommener Umweltveränderung ist bis heute gebräuchlich – als deziert regelungstechnisches Modell des Vergleichs von Ist und Soll. Nach ihr ist jegliche Raumwahrnehmung Resultat eines In-Beziehung-Setzens von Bewegung und daraus resultierender Umweltveränderung. Räumlichkeit basiert damit auf dem Feedback der Kybernetik und jeder Raum ist ein Cyber-Space. „Action Capture“ erweist sich dabei ebenfalls als Folge des internen Vergleichs von Erwartung (Soll) und tatsächlicher Erfahrung (Ist).

8.1 ONE OF THOSE CLOSED SYSTEMS

Als der Science-Fiction-Autor William Gibson den Begriff „Cyber-space“ erfindet, geschieht das unter dem Eindruck der Beobachtung von Computerspielern:

I was walking down Granville Street [...] and I was looking into one of the video arcades. I could see in the physical intensity of their postures how rapt the kids inside were. It was like one of those closed systems out of a Pynchon novel: a feedback loop with photons coming off the screens into the kids' eyes, neurons moving through their bodies, and electrons moving through the video game. These kids clearly believed in the space games projected. Everyone I know who works with computers seems to develop a belief that there's some kind of actual space

behind the screen, someplace you can't see but you know is there.¹

Was Gibson mit dem ausführlichen Verweis auf den Feedback-Loop und die „closed systems“ des Computerspiels klar macht, ist vor allem, dass Cyberspace – trotz der Karriere, die der Begriff als Name für die dreidimensionale und „illusionistische“ Darstellung von Räumlichkeit virtueller Welten machen sollte – tatsächlich kybernetisch zu verstehen ist. Der Medienwissenschaftler Wolfgang Ernst macht daher nachdrücklich darauf aufmerksam: „Bei dem Begriff »Cyberspace« [...] geht es weniger um »Raum« (der hier ein metaphorischer Begriff ist) als um Kybernetik; die Tatsache, dass »Cyber« sich aus Norbert Wieners »Kybernetik« ableitet, ist heute ein vergessenes medienkulturelles Faktum.“²

Im Anschluss an diese Feststellung macht Ernst sich für einen topologischen Raumbegriff stark, den er dem kartografischen gegenüberstellt. Anknüpfend daran soll hier der Raumbegriff noch tiefergelegt werden – um ihn als Cyber-Space im Wortsinne zu rekonstruieren. Dabei wird sich zeigen, wie sehr der komplizierte Zusammenhang von Handeln und Wahrnehmen mit der Frage nach der Wahrnehmung und Erzeugung unserer Vorstellung von Räumlichkeit zusammenhängt und dass tatsächlich „actual space“ auf Grundlage von Feedback entsteht.³

8.2 RAUM UND BEWEGUNG

Während sich die Idee eines *Common Coding* vor allem innerhalb des Denkstils der Kognitionswissenschaften erklärt, ist außerhalb dieses Feldes keineswegs klar, dass eine klare Trennung von Handeln und Wahrnehmen möglich wäre. Es ist die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Wahrnehmung von Räumlichkeit, in der es sowohl 2005 heißen kann: „The connection between perception and action has classically been studied in one direction only: the effect of perception on subsequent action.“⁴ – während noch hundert Jahre zuvor gilt: „Dass die Raumempfindung mit motorischen Processen zusammenhängt, wird seit langer Zeit nicht mehr bestritten.“⁵

¹ Larry McCaffery. »An Interview with William Gibson«. In: *Mississippi Review* 16 (1996). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: http://project.cyberpunk.ru/idb/gibson_interview.html.

² Wolfgang Ernst. *Jenseits des Archivs: Bit Mapping*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2004. URL: http://www.medienkunstnetz.de/themen/mapping_und_text/jenseits-des-archivs.

³ Eine kurze Einführung in die Thematik findet sich bereits in Lasse Scherffig. »Ortsbestimmung: Vom Mapping zum Tracing«. In: *Tracing Space*. Hrsg. von Thomas Harwanke und Serge Ecker. Luxembourg: Ballini Pitt & Partners, 2011, S. 5–8.

⁴ Mark Wexler und Jeroen A. van Boxtel. »Depth perception by the active observer«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 9 (2005), S. 431–438, S. 431.

⁵ Ernst Mach. *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1902 [1886], S. 101.

Tatsächlich ist diese Feststellung um die Jahrhundertwende Tatsache. So untersucht zum Beispiel der Mathematiker, Physiker und Philosoph Henri Poincaré (der im Übrigen auch als Geometer tätig war) im erstmals 1902 erschienenen „Wissenschaft und Hypothese“⁶ unter anderem den Zusammenhang der Raumvorstellung der Geometrie mit unserer Wahrnehmung. Als Vertreter eines wissenschaftstheoretischen Konventionalismus geht es ihm dabei vor allem darum zu zeigen, dass die mathematische Geometrie und ihr Raumbegriff kontingente Folge der sinnlichen Wahrnehmung sind – und auch anders aussehen könnten. Im Zuge dieser Argumentation zeigt er zunächst aber, wieso die sinnliche Wahrnehmung überhaupt Grundlage des geometrischen Raumbegriffs sein kann. Denn dieser Zusammenhang ist alles andere als selbstverständlich. Der geometrische Raum ist ein unendliches Kontinuum in drei Dimensionen, das noch dazu homogen und isotrop ist. Homogenität bezeichnet dabei die Eigenschaft des Raums, dass dessen Räumlichkeit an jedem Ort gleich ist. Isotropie stellt sicher, dass das auch für jede Richtung gilt. Im geometrischen Raum gibt es keine Positionen oder Richtungen, die sich grundsätzlich von anderen unterscheiden. Dagegen ist das Abbild der Umwelt auf der Retina, der „reine Gesichts-Raum“, endlich, zweidimensional, kein Kontinuum, nicht homogen und nicht isotrop.⁷

Zwei Prozesse machen diesen reinen Gesichts-Raum zum „vollständigen Gesichts-Raum“: einerseits die traditionell als „Akkommodation“ bezeichnete Anpassung der Lichtbrechung der Augenlinse beim Fokussieren, die über Muskelaktivität aktiv eingestellt wird, andererseits die Konvergenz beider Augen auf einen gemeinsamen Fluchtpunkt, die ebenfalls eine Aktivität darstellt.⁸

Ein „Tast-Raum“ ergänzt den vollständigen Gesichts-Raum weiter – und wird seinerseits durch unsere Fähigkeit ergänzt, uns zu bewegen. Denn durch die Bewegung des Körpers kommt zu den Gesichts-Räumen und dem Tast-Raum ein „Bewegungs-Raum“, der durch die Muskelbewegungen des Körpers und die sie begleitenden „Muskelempfindungen“ erzeugt wird.⁹ Der „Vorstellungs-Raum“, der aus der Konvergenz von Gesichts-, Tast- und Bewegungs-Räumen entsteht¹⁰ ist allerdings noch immer nicht mit dem geometrischen Raum identisch. Vielmehr ist eine Lokalisierung innerhalb des Vorstellungsräum keine geometrische, sondern eine Lokalisierung durch Körperbewegungen. Poincaré argumentiert:

Was soll es aber bedeuten, wenn man nun sagt, daß wir ein bestimmtes Objekt an einem bestimmten Punkte des Raumes »lokalisieren«?

6 Henri Poincaré. *Wissenschaft und Hypothese*. Leipzig: B. G. Teubner, 1904 [1902].

7 Ebd., S. 54-55.

8 Ebd., S. 55.

9 Ebd., S. 56-57.

10 Ebd., S. 58.

Das bedeutet einfach, daß wir die Bewegungen vorstellen, welche man ausführen muß, um zu diesem Objekte zu gelangen; [...]¹¹

Damit ist der Vorstellungs-Raum aber nicht homogen oder isotrop, „man kann nicht einmal behaupten, daß er drei Dimensionen habe.“

Um von diesem Vorstellungs-Raum, der hier eher als ein Handlungsraum konstruiert wird, zum geometrischen Raum zu gelangen, müssen zunächst die unterschiedlichen Empfindungen (und ihre Räume) miteinander in Beziehung gesetzt werden – einschließlich der Muskelempfindung und der willkürlichen Bewegung. Erst ihr gesetzmäßiger Zusammenhang ermöglicht den Raumbegriff. „Keine unserer Empfindungen würde für sich allein uns zur Idee des Raumes führen können; wir sind zu derselben nur durch das Studium der Gesetze gekommen, nach welchen diese Empfindungen aufeinander folgen.“¹²

Denn da eine Veränderung der Empfindung, die etwa durch eine Veränderung im Gesichts-Raum stattfindet, sowohl durch eine Zustandsveränderung der Umwelt, wie auch durch eine Ortsveränderung verursacht sein könnte, müssen wir eine Möglichkeit besitzen, beide Kategorien voneinander zu unterscheiden.¹³ Ortsveränderungen sind nach Poincaré daher solche Veränderungen einer Empfindung, die sich durch eine willkürliche Bewegung des Körpers ausgleichen lassen: Wir können ein Objekt mit dem Auge verfolgen, und sind daher prinzipiell in der Lage, die Veränderung seines Abbildes auf der Netzhaut auszugleichen und seine Veränderung als eine des Ortes zu begreifen.¹⁴ Nun können aber Ortsveränderungen auf zwei Wegen zustande kommen: durch Bewegung eines Objektes in der Umwelt oder durch Bewegung des eigenen Körpers. Um das unterscheiden zu können, muss nicht nur die willkürliche Bewegung des eigenen Körpers Teil der räumlichen Wahrnehmung sein, auch muss sich der Raumbegriff auf die regelhaften Zusammenhänge von Willkürbewegungen und Veränderungen der Wahrnehmung stützen:

Es folgt daraus, daß Gesichts- und Tast-Sinne uns ohne die Hilfe des »Muskel-Sinnes« den Raum-Begriff nicht geben können.

Und zwar könnte dieser Begriff nicht aus einer einzelnen Empfindung, auch nicht aus einer Folge von Empfindungen abgeleitet werden, ja sogar ein *unbewegliches* Objekt könnte niemals zu ihm gelangen, denn es könnte durch seine Bewegungen nicht die Wirkungen von Ortsveränderungen äußerer Objekte *korrigieren* und hätte also keinerlei Grund sie von Zustands-Änderungen

¹¹ Poincaré, *Wissenschaft und Hypothese*, S. 59.

¹² Ebd.

¹³ Ebd., S. 59-60.

¹⁴ Ebd., S. 60.

zu unterscheiden. Ebensowenig könnte es zu ihm gelangen, wenn seine Bewegungen nicht willkürlich wären oder wenn sie nicht von irgendwelchen Empfindungen begleitet würden.¹⁵

Erst die Korrelation und wechselseitige Reversibilität von Ortsveränderungen des eigenen Körpers und externen Ortsveränderungen ermöglicht den Raumbegriff der Geometrie – inklusive Homogenität und Isotropie.¹⁶

Mehr als einhundert Jahre nach ihrer Veröffentlichung liest sich Poincarés Argumentation wie eine theoretisch motivierte Vorwegnahme der empirischen Ergebnisse zeitgenössischer Wahrnehmungs- und Neuropsychologie. Aus Sicht dieser Forschungskultur hat sich die Untersuchung der Wahrnehmung von räumlicher Tiefe und dreidimensionaler Form erst „kürzlich“ der Rolle motorischer Aktivität als Teil dieses Wahrnehmungsprozesses angenommen: „It is evident that actions can modify perceptions *externally* by modifying the world or one’s view of it. However, it has recently become clear that motor action and depth vision are *internally* linked as well: executing or preparing a motor action – independent of its sensory consequences – is often enough to modify the observer’s perception and representation of 3D space and shape.“¹⁷

Dass der optische Fluss, der als Folge von Bewegung auf der Retina abgebildet wird, Grundlage einer Rekonstruktion dreidimensionaler Räumlichkeit sein kann, ist eine Tatsache, die als „structure from motion“ oder „kinetic depth“ bezeichnet wird¹⁸. Dieser Effekt ist immer uneindeutig im Bezug darauf, was sich bewegt: Subjekt oder Umwelt. So überrascht es wenig, dass es auch hier zu einem Action Capture kommt, bei dem die Eigenbewegung den dreidimensionalen Raumeindruck disambiguiert: „actively moving observers perceive different 3D structure than when they are stationary, despite receiving the same optic flow.“¹⁹ Analog zu den Ergebnissen zu Action Capture und in Bestätigung von Poincarés Vorhersage, dass der „Muskel-Sinn“ an der Konstruktion des geometrischen Raums beteiligt sein muss, ist dieser Effekt schwächer, wenn zum Beispiel der Kopf eines Betrachters durch externe Kräfte passiv bewegt wird. Raumwahrnehmung bezieht nicht nur die Propriozeption, sondern auch die Muskelaktivität selbst mit ein: „both motor and proprioceptive extraretinal signals can modify the perception of 3D shape.“²⁰ Das gleiche gilt

¹⁵ Ebd., S. 61, Hervorhebungen im Original.

¹⁶ Ebd., S. 64-66.

¹⁷ Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 431, Hervorhebungen im Original.

¹⁸ Einen Überblick liefern R. A. Andersen und D. C. Bradley. »Perception of three-dimensional structure from motion«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 2 (1998), S. 223–228.

¹⁹ Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 433.

²⁰ Ebd.

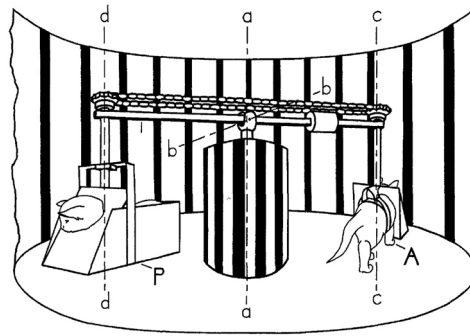


Abbildung 39: Experimentalsystem zur Untersuchung des Zusammenhangs von Raumwahrnehmung und aktiver Bewegung (aus Richard Held und Alan Hein. »Movement-Produced Stimulation in the Development of Visually Guided Behavior«. In: *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 56.5 (1963), S. 872–876, S. 873).

für den „Tast-Raum“ – auch hier werden uneindeutige sensorische Stimulationen (wie etwa eine uneindeutige Unterscheidung konkav / konvex) durch aktive Bewegung zu eindeutigen Perzepten²¹ – was an denselben Mechanismen liegen dürfte, dank derer die Bewegung geschlossener Augen die Wahrnehmung taktiler *Motion Quartets* beeinflusst.

Eine frühe empirische Bestätigung Poincarés Vorhersage, dass weder ein unbewegliches Objekt eine Raumvorstellung entwickeln könne, noch eines, dessen Bewegungen nicht willkürlich wären, liefern 1963 Richard Held und Alan Hein.²² In einer berühmten Studie zur „sensory deprivation“ lassen die Forscher zwanzig Katzen in Dunkelheit aufwachsen. Lediglich für drei Stunden pro Tag werden die Tiere Licht ausgesetzt. Währenddessen werden sie paarweise in eine Apparatur eingespannt, die ihnen nur eine Bewegung im Kreis ermöglicht. Jeweils einer der Katzen bewegt sich dabei selbstständig vorwärts, die andere hingegen wird so fixiert, dass sie von ihrem aktiven Gegenüber mitgezogen wird und die Kreisbewegung daher nur passiv – und ohne die entsprechenden „Muskelempfindungen“ – nachvollzieht (Abbildung 39). Acht Wochen lang bewegen sich die Katzen so täglich für drei Stunden im Kreis, wobei sie die grundsätzlich gleiche visuelle Stimulation erleben. Nach Ende dieser Phase werden alle Katzen in eine normal beleuchtete Umgebung versetzt. Hier zeigt sich bei Tests ihres „visually guided behavior“, dass die Katzen, die sich selbstständig bewegen konnten, sich völlig normal verhalten – während die anderen sich so verhalten, als seien sie blind.²³

²¹ Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 435.

²² Zum Folgenden vergleiche Richard Held und Alan Hein. »Movement-Produced Stimulation in the Development of Visually Guided Behavior«. In: *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 56.5 (1963), S. 872–876.

²³ Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, S. 175.

Diese Effekte finden sich bis hinab auf die Ebene zellulärer Aktivität: „Ortszellen“, die im Hippocampus und Thalamus von Menschen, Affen und Ratten nachgewiesen wurden²⁴, reagieren auf Position und Richtung im Raum in Bezug auf einen umweltbezogenen „Reference Frame“²⁵ – und scheinen somit eine Karte der Umgebung abzubilden. Die Zellen reagieren dabei aber nicht nur auf sensorische Aktivierung (etwa durch das visuelle und vestibuläre System), sondern unterscheiden auch aktive Bewegung von einem passiven Bewegt-Werden – so weit, dass die ortsspezifische Aktivierung mancher Ortszellen nur bei einer aktiven Fortbewegung nachweisbar ist²⁶. So lässt sich zum Beispiel zeigen, dass bei Affen, die auf einem Wagen fortbewegt werden, ortsspezifische Zellen genau dann im Einklang mit der räumlichen Umgebung aktiviert werden, wenn die Affen ihr Fahrzeug durch Tastendruck selbst steuern²⁷ – und sich damit durch das aktive Ausführen von Bewegungen im Sinne Poincarés „lokalisieren“. Auch entwicklungspsychologisch scheint sich Poincarés Vorhersage zu bestätigen, dass ein unbewegliches Objekt keinen Raumbegriff entwickeln kann: Kleinkinder entwickeln bestimmte raumbezogene Fähigkeiten erst, wenn sie zu Krabbeln beginnen – darunter etwa die Fähigkeit „allozentrischer“ Operationen, nach denen zum Beispiel ein Objekt auf der rechten Seite nach einer Körperdrehung um 180° auf der linken Seite zu suchen ist.²⁸

Raumwahrnehmung beruht also nicht alleine auf unseren verschiedenen Wahrnehmungsmodalitäten und deren Integration. Nicht einmal die beobachteten Veränderungen der Umwelt, die durch unsere Aktivität ausgelöst werden, reichen für die Entstehung von Raumgefühl und -begriff aus. Erst wenn die Aktivität selbst, die diese Veränderungen hervorruft, systematisch mit ihnen korreliert wird, entsteht Räumlichkeit – als Folge der internen Verschaltung von Wahrnehmung und Handlung, die hier bereits Action Capture vorgeführt hat.

8.3 PROTO-KYBERNETISCHE RÄUME

Trotz der Tatsache, dass für manche Denkkollektive die Vorstellung einer „internen“ Verschaltung von Bewegung und (Raum-)Wahrnehmung zu Beginn des Jahrtausends etwas Neues darstellt, heißt das nicht, dass die Vorstellung einer „aktiven“ Wahrnehmung nicht

24 Der erste Nachweis erfolgte 1971 für Ratten durch J. O'Keefe und J. Dostrovsky. »The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat«. In: *Brain Research* 34.1 (1971), S. 171–175.

25 Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 432.

26 Ebd.

27 Hisao Nishijo u. a. »The relationship between monkey hippocampus place-related neural activity and action in space«. In: *Neuroscience Letters* 226 (1997), S. 57–60.

28 Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 431–432.

durch die Geschichte hindurch existiert und diskutiert wird.²⁹ Bereits die vorsokratische Philosophie ging davon aus, dass die visuelle Wahrnehmung vom Auge ausgeht – eine Ansicht, die von Aristoteles schließlich abgelehnt wurde. Und auch vom Beginn der modernen Wissenschaft bis heute ist die Idee einer aktiven Wahrnehmung immer wieder präsent.³⁰

Zu den bekanntesten und meistzitierten modernen Vertretern eines aktiven Wahrnehmens gehört Hermann von Helmholtz³¹. Im dritten Abschnitt seines umfangreichen „Handbuch der physiologischen Optik“³² versammelt er empirische Belege, die das Sehen als einen Prozess erscheinen lassen, an dem neben dem Abbild auf der Retina (im Sinne des Bildes der Camera Obscura) genauso Propriozeption und (im Sinne von Action Capture) Muskelaktivität beteiligt sind.

Paragraph 29 des Abschnitts untersucht „Die Richtung des Sehens“ und fragt, woher wir wissen, in welche Richtung wir unseren Blick richten. Die wahrgenommene Blickrichtung ist nämlich keineswegs identisch mit der Stellung der Augen im Kopf und auch nicht mit der tatsächlichen Drehung der Augenmuskulatur, so ein erster Schluss, der zwar nicht intuitiv erscheinen mag, dessen empirische Grundlage uns aber zutiefst vertraut ist. Helmholtz schreibt:

Zunächst zeigen bekannte Erfahrungen, dass wir die Richtung unseres Blicks nicht nach der wirklich vorhandenen Stellung unseres Auges beurtheilen, wenn dieselbe durch andere Kräfte als die unserer Muskeln verändert ist. Wenn man auf den von den Lidern bedeckten Theil des Augapfels drückt, oder die den Augapfel umgebende Haut zerrt, so werden dadurch kleine Aenderungen in der Stellung des Augapfels selbst hervorgebracht. Oeffnet man beide Augen, [...] so erhält man Doppelbilder, indem das Bild des gezerrten Auges nach einer anderen Richtung hin verlegt wird, als das Bild des andern, und öffnet man nur das erstere Auge, so sieht man bei jedem Zuge an der Hautfalte eine Scheinbewegung der Gegenstände im Gesichtsfelde eintreten.³³

Erzeugt man dagegen ein Nachbild auf der Retina, indem man zum Beispiel in eine helle Lampe blickt, bewegt sich dieses Nachbild mit jeder Augenbewegung – obwohl es relativ zur Retina in Ruhe ist und

29 Hierzu und zum Folgenden vergleiche Otto-Joachim Grüsser. »On the history of the ideas of efference copy and reafference«. In: *Essays in the History of the Physiological Sciences: Proceedings of a Symposium of the European Association for the History of Medicine and Health Held at the University Louis Pasteur, Strasbourg, on March 26-27th, 1993*. Hrsg. von Claude Debru. Amsterdam: Rodopi, 1994, S. 35–56.

30 Ebd., S. 37–45.

31 Ebd., S. 44.

32 Hermann von Helmholtz. *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Leopold Voss, 1867.

33 Ebd., S. 599–600.

sich das „Netzhautbild“ nicht bewegt. Dies passiert wiederum nicht, wenn am Auge gezerrt wird.³⁴

Zugleich setzen wir als selbstverständlich voraus, dass die Welt sich beim Bewegen der Augen nicht zu bewegen scheint, obwohl ihr Abbild auf der Retina das im selben Maße tut, als wenn der Augapfel von außen verformt wird. Um aber zu verhindern, dass die Welt mit jeder Fixation zu springen scheint, müssen die Fixationen aktiven Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung nehmen – was ein weiterer experimenteller Befund deutlich macht. Helmholtz bezieht sich hier auf eine Beschreibung des Mediziners Albrecht von Graefe³⁵, die zeigt, wie die Wahrnehmung der Umwelt unter pathologischen Umständen durch pure Willensanstrengung in Bewegung versetzt werden kann:

Dass wir die Richtung der Gesichtslinie auch nicht nach der Spannung der Augenmuskeln beurtheilen, geht daraus hervor, dass in solchen Fällen, wo Lähmungen einzelner Augenmuskeln plötzlich eingetreten sind, die Patienten, wenn sie ihr Auge nach einer Richtung zu bewegen streben, nach der sie es nicht mehr bewegen können, Scheinbewegungen sehen, die bei gleichzeitig geöffnetem anderen Auge Doppelbilder hervorbringen. Wenn also zum Beispiel der äussere gerade Muskel des rechten Auges oder sein Nerv gelähmt ist, so kann das Auge nicht mehr nach der rechten Seite herübergezogen werden. So lange der Patient es nur nach der inneren Seite wendet, macht es noch regelmässige Bewegungen, und er nimmt die Richtung der Objecte im Gesichtsfeld richtig wahr. Sobald er versucht es nach aussen, also nach rechts hin zu wenden, folgt es seinem Willen nicht mehr, sondern bleibt in der Mitte stehen und die Objecte bewegen sich scheinbar nach rechts, obgleich die Stellung des Auges und der Netzhautbilder im Auge unverändert bleibt.³⁶

Damit ist der „Willensakt“ alleine Ursache der scheinbaren Bewegung der Umwelt. Die visuelle Wahrnehmung scheint also zu „wissen“, wie das Auge sich hätte bewegen sollen. „Diese Erscheinungen lassen keinen Zweifel darüber, dass wir die Richtung der Gesichtslinie nur beurtheilen nach der Willensanstrengung, mittels der wir die Stellung der Augen zu ändern suchen.“³⁷ Es ist also die „Intensität unserer Willensanstrengung“³⁸ oder physiologischer gesprochen der „Grad der Innervation“³⁹ der entsprechenden Muskeln, die die Bewegung der visuellen Welt im Verhältnis zum Körper genauso bestimmt,

34 Ebd., S. 600. Ein Befund, der bereits von Jan Evangelista Purkyně beschrieben wurde. Grüsser, »On the history of the ideas of efference copy and reafference«, S. 43.

35 Ebd., S. 44.

36 Helmholtz, *Handbuch der physiologischen Optik*, S. 600.

37 Ebd., S. 601.

38 Ebd., S. 599.

39 Ebd., S. 604.

wie die scheinbare Konstanz der Welt während wir Augen und Körper bewegen. Die Konstanz der Umgebung entsteht „at least partly by anticipating the 3D consequences of the eye movements“⁴⁰.

Die mathematisch motivierte These Poincarés, nach der zur Erzeugung des Raums der Geometrie das Zusammenspiel aus Wahrnehmung, Bewegung des Körpers und interner Berücksichtigung von Muskelaktivität notwendig ist, findet hier eine frühe empirisch motivierte Vorwegnahme. Und auch Ernst Mach kommt bereits im späten neunzehnten Jahrhundert zu Schlüssen, die sich wie eine Synthese der Überlegungen von Poincaré und von Helmholtz lesen.

Analog zu Poincaré argumentiert Mach in „Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen“ konventionalistisch, wenn er festhält, „dass geometrische und physiologische Eigenschaften eines Raumgebildes scharf zu scheiden sind. Die physiologischen Eigenschaften sind durch geometrische mitbestimmt, aber nicht allein durch diese bestimmt. Dagegen haben physiologische Eigenschaften höchst wahrscheinlich die erste Anregung zu geometrischen Untersuchungen gegeben.“⁴¹ Er stützt sich dabei ebenfalls auf Homogenität und Isotropie, die den geometrischen Raum von dem des Empfindens unterscheiden (und bezieht sich dabei auf die Praxis der Landvermessung): „Der Raum des Geometers zeigt in jedem Punkte und nach allen Richtungen dieselben Eigenschaften, was vom physiologischen Raum durchaus nicht gilt.“⁴²

Solche theoretischen Überlegungen untermauert Mach physiologisch. Er versucht dabei, wie Poincaré, zu zeigen, dass die Integration unterschiedlicher Wahrnehmungs- und Bewegungsräume die Grundlage eines geometrischen Raumbegriffs sein muss.⁴³ Dabei baut er auf ähnliche Beispiele wie Helmholtz, gibt aber auch Anweisungen für ein Experiment, das den Befund Graefes ohne Lähmung der Muskeln nachvollziehbar macht:

Man drehe die Augen möglichst nach links und drücke nun an die rechten Seiten der Augäpfel zwei grosse Klumpen von ziemlich festem Glaserkitt gut an. Versucht man alsdann rasch nach rechts zu blicken, so gelingt dies wegen der ungenauen Kugelform der Augen nur sehr unvollkommen, und die Objecte verschieben sich hierbei ausgiebig nach rechts. Der blosser Wille, rechts zu blicken, giebt also den Netzhautbildern an bestimmten Netzhautstellen einen grösseren Rechtswert, wie wir kurz sagen wollen.⁴⁴

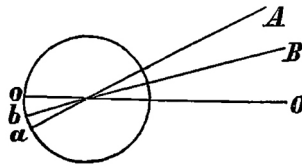
⁴⁰ Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 434.

⁴¹ Mach, *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, S. 95.

⁴² Ebd., S. 125, 134.

⁴³ Ebd., S. 141.

⁴⁴ Ebd., S. 102.



Figur 15.

Abbildung 40: Blick nach oben/unten und entgegengesetzte Verschiebung des Netzhautbildes (aus Ernst Mach. *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1902 [1886], S. 101).

Die beiden Tatsachen, dass erstens eine bewusste Augenbewegung *keine* Verschiebung der Umwelt zur Folge zu haben scheint, und zweitens eine „gewaltsame unwillkürliche“ Bewegung des Augapfels eine entgegengesetzte Verschiebung der sichtbaren Welt erzeugt, legen nahe, dass das räumliche Sehen tatsächlich die Augenbewegung selbst (und nicht ihre Auswirkung auf die Verschiebung des Abbildes auf der Retina) zur Korrektur dieser Verschiebung benutzt. Wie in Anlehnung an von Helmholtz schließt Mach: „Der Wille, Blickbewegungen auszuführen, oder die Innervation(?), ist die Raumempfindung selbst.“⁴⁵

Anders aber als bei von Helmholtz scheint die visuelle Wahrnehmung für Mach buchstäblich mit den willkürlichen Bewegungen des Körpers zu „rechnen“. Wenn ein Blick nach oben nicht dazu führt, dass sich die Umwelt nach unten zu bewegen scheint – obwohl das Abbild auf der Netzhaut dies sehr wohl tut (Abbildung 40) – dann folgt daraus: „Der physiologische Process also, der die willkürliche Erhebung des Auges bedingt, vermag die Höhenempfindung ganz oder theilweise zu ersetzen, ist mit ihr gleichartig, kurz gesagt algebraisch mit derselben summierbar.“⁴⁶

Diese algebraische Summierbarkeit stellt nicht nur eine Vorwegnahme der Idee des *Common Coding* dar – eine Vorwegnahme, auf die sich die Vertreter des Ansatzes explizit beziehen⁴⁷. Mach führt sie auch zu einer überraschenden Konsequenz: Er schlägt ein schematisches Modell des Zusammenhangs von Bewegungsempfindung und Muskelaktivität vor, das er diagrammatisch anschreibt (Abbildung 41).

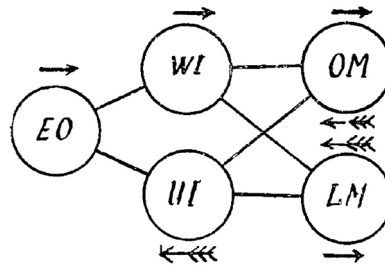
Das Diagramm zeigt den abstrakten Zusammenhang eines hypothetischen „Endorgans“ (EO) der Detektion von Beschleunigung⁴⁸

⁴⁵ Ebd., S. 103.

⁴⁶ Ebd., S. 101-102.

⁴⁷ Prinz, »Perception and Action Planning«, S. 131-133.

⁴⁸ Die genaue Rolle des Gleichgewichtsorgans im Innenohr ist zu dieser Zeit noch umstritten. Mach hat bereits 1875 dazu veröffentlicht, die Diskussion ist aber auch 1902 noch in vollem Gang. Vergleiche Mach, *Die Analyse der Empfindungen und das*



Figur 23.

Abbildung 41: „Blockdiagramm“ der Bewegungswahrnehmung bei Mach (aus Ernst Mach. *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1902 [1886], S. 123).

mit den Zentren der Steuerung willkürlicher (WI) und unwillkürlicher (UI) Innervation der „Locomotorischen“ (LM) und „Oculomotorischen“ (OM) Apparate. Ihr Zusammenhang besteht in Verbindungslinien, die „active“ (glatte Pfeile) und „compensierende“ (gefiederte Pfeile) Innervationen darstellen und die sich antagonistisch verhalten. Getreu seiner Überzeugung, dass Wille oder Innervation Ursache der Raumempfindung sein müssen, ist EO dabei nicht Quelle, sondern „Vermittler“ des Bewegungseindrucks. Auf Anregung reagiert es „reflectorisch“, indem es UI anweist, „compensierende Bewegungen hervorzubringen“, die dafür sorgen, dass die externe Bewegung korrigiert wird. Bei einer willentlichen Bewegung dagegen wird UI von EO dergestalt gehemmt, dass keine Korrektur erfolgt und ein Bewegungseindruck übrig bleibt. Umgekehrt kann die Kompensation einer externen Bewegung gehemmt werden. In diesem Fall ist „wieder dieselbe Innervation wie bei der activen Bewegung nöthig, und sie liefert auch wieder die gleiche Bewegungsempfindung.“⁴⁹ Ursache der Bewegungsempfindung ist also stets der Wille, der eine Bewegung auslöst und Kompensationsbewegungen hemmt. Die willentlich verursachte Innervation ist dabei von derselben Größe, wie die unwillentliche Innervation kompensatorischer Bewegung, die sie unterdrückt. Willkürliche Bewegung und reflektorisch ausgelöste Kompensationsbewegung sind damit buchstäblich miteinander verrechenbar, und es gilt: „Das Organ EO ist also zu WI und UI so gestimmt, dass in den beiden letzteren mit denselben Bewegungsreiz des ersten entgegengesetzte Innervationen zusammentreffen.“⁵⁰

Dieses Prinzip der „antagonistischen Innervationen“⁵¹ aus aktiver Bewegung und Ausgleichsbewegung steht nicht nur im Einklang mit

Verhältnis des Physischen zum Psychischen, S. 117, sowie Ernst Mach. *Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen*. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1875.

49 Mach, *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, S. 124.

50 Ebd., S. 123.

51 Ebd., S. 133.

Poincarés Folgerung, dass jede externe Bewegung genau deswegen als Bewegung wahrgenommen wird, weil sie durch aktive Bewegung korrigierbar ist. Auch zeigt Mach hier nicht nur, dass sich die Innervationen von Muskelbewegungen „rechnerisch“ in der Verarbeitung der Wahrnehmung ihrer Folgen niederschlägt – beim Sehen zum Beispiel, „indem bei willkürlicher Augenbewegung die derselben entsprechende Bildverschiebung auf der Netzhaut in Bezug auf den Raumwerth durch die willkürliche Bewegung eben compensirt wird.“⁵² Das Prinzip sowie dessen Darstellung in einer Art Blockdiagramm kann darüber hinaus aus heutiger Sicht nur als proto-kybernetisch bezeichnet werden⁵³. Vor allem im Lichte zweier berühmter Arbeiten aus der physiologischen Forschung der Nachkriegszeit wird sich dies noch deutlicher offenbaren.

8.4 REAFFERENZ UND EFFERENZKOPIE

Trotz der hier genannten Arbeiten steht auch in der physiologischen Forschung lange die Untersuchung des Zusammenhangs von Handeln und Wahrnehmen „in one direction only“⁵⁴ im Vordergrund. In einem Feld, dessen Forschungspraxis seit den berühmten Versuchen von Helmholtz', auf die bereits Exner Bezug nimmt, vom Messen elektrischer Aktivität von Sinnes-, Muskel- und Nervenzellen geprägt ist, erscheint sie hier als Frage: „welche gesetzmäßige Beziehung besteht zwischen den Impulsen, die, durch Reize veranlaßt, ins ZNS hineingelangen, und denen, die dann – direkt oder auf Umwegen – von dort wieder herauskommen, also zwischen der Afferenz und der Efferenz?“⁵⁵

Afferenz und Efferenz bezeichnen in der Physiologie den In- und Output des hier mit ZNS abgekürzten Zentralnervensystems. Sie stehen im physiologischen Diskurs um 1950 in Deutschland im Kontext einer „klassischen Reflextheorie“, die das Zentralnervensystem als „Automat“ versteht, „der für ein bestimmtes Geldstück »reflektorisch« eine bestimmte Fahrkarte liefert.“⁵⁶ Das ZNS reagiert auf Umweltreize und kann diese Reaktionen allenfalls als „bedingten Reflex“ willentlich oder durch Erfahrung unterdrücken.

Die Physiologen Erich von Holst und Horst Mittelstaedt treten nun gegen die Reflextheorie an – wobei sie diese natürlich auch als dankbare Angriffsfläche erst rekonstruieren –, um sie mit einer „Blickwendung um 180° umzukehren. Statt nach dem Einfluss der Afferenz

⁵² Ebd., S. 138.

⁵³ Vergleiche hierzu auch Grüsser, »On the history of the ideas of efference copy and reafference«, S. 44.

⁵⁴ Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 431.

⁵⁵ Erich von Holst und Horst Mittelstaedt. »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)« In: *Naturwissenschaften* 37.20 (1950), S. 464–476, S. 464.

⁵⁶ Ebd.

auf die Efferenz zu fragen, fragen sie nach dem Einfluss der Efferenz auf die Afferenz: „was geschieht im ZNS mit der von dieser Efferenz über die Effektoren und Rezeptoren verursachten Afferenz, die wir die »Reafferenz« nennen wollen?“⁵⁷ Mit dieser Blickwendung fokussieren sie also nicht länger die Rolle der Wahrnehmung bei der Formulierung von Handlungen, sondern den Einfluss dieser Handlungen auf die Wahrnehmung – ganz im Einklang mit dem Denkstil, aus dem heraus bereits Mach spricht, aber im Gegensatz nicht nur zur Reflextheorie, sondern auch zur zukünftigen Kognitionswissenschaft.

Die Blickwendung um 180° ist aber auch durchaus wörtlich zu verstehen, beginnt sie doch mit einem empirischen Befund, der sich wie eine Erläuterung der Überlegungen Machs lesen lässt: Setzt man ein Insekt in einen rotierenden Zylinder, dessen Wände (wie die „sine wave gratings“ in den Experimenten zur Bewegungswahrnehmung des Menschen und die Wände des Zylinders, mit dem die Katzen von Held und Hein gequält werden) ein senkrechtes Streifenmuster zeigen, „dann dreht das Tier sich im gleichen Sinne mit, es »versucht, sein Blickfeld festzuhalten«“⁵⁸. Diese Korrektur- oder Kompensationsbewegung, die die Reflextheorie als „optomotorischen Reflex“ bezeichnet, erfolgt aber nicht, wenn sich das Tier selbst bewegt – obwohl der optische Fluss auf der Retina dabei durchaus identisch sein kann. „Es entsteht die Frage, warum der »optomotorische Reflex« das Tier nicht bei jeder beginnenden Wendung in die alte Lage zurückzieht, da die Verschiebung des Bildes auf der Retina ja die gleiche ist wie vorhin bei rotierendem Zylinder.“⁵⁹

Die naheliegende Antwort der Reflextheorie auf diese Frage postuliert, dass „während der »spontanen« Lokomotion die optomotorischen Reflexe »gehemmt« werden.“⁶⁰ Von Holst und Mittelstaedt halten dagegen: „Diese Antwort ist jedoch unrichtig!“⁶¹

Ein erstes Indiz für diese Unrichtigkeit liefert die Blickwendung um 180°, die jetzt dem Insekt aufgezwungen wird:

Dreht man dem Tier [in diesem Fall eine Fliege der Art »Eristalis«], das einen dünnen beweglichen Hals hat, den Kopf 180° um die Längsachse und legt ihn mit einem Leimtropfen am Thorax fest, so daß beide Augen ihre Lage vertauschen [...] so wird erreicht, daß eine Drehung des Streifenzylinders im Uhrzeigersinn eine solche Wanderung des Bildes über die Retina bewirkt wie beim normalen Tier eine Zylinderdrehung im Gegensinn. Dementsprechend beantwortet das ruhende Tier eine Zylinderdre-

57 von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 464.

58 Ebd., S. 464-465.

59 Ebd., S. 465.

60 Ebd.

61 Ebd.

hung nach rechts prompt mit einer Eigendrehung nach links.⁶²

Während diese Beobachtung der Theorie bedingter Reflexe nicht direkt widerspricht, ändert sich die Situation, sobald sich das Tier im stillstehenden Zylinder aktiv bewegt:

Beginnt das Tier im ruhenden Zylinder zu laufen, dann müßte, wenn die »optomotorischen Reflexe« jetzt gehemmt wären, die Lokomotion ungehindert wie beim intakten Tier erfolgen. Das ist jedoch nur in optisch homogener Umgebung der Fall. Im Streifenzyylinder findet *kein normaler Lauf* mehr statt: *Eristalis* dreht sich ständig nach rechts oder links in engem Kreise, oder es erfolgen kürzere heftige Rechts-links-Wendungen, bis das Tier »wie erstarrt« in atypischer Stellung stehen bleibt. Nach Rückdrehung des Kopfes ist das Verhalten wieder normal.⁶³

Hier wird der optomotorische Reflex also offensichtlich nicht einfach gehemmt, sondern vielmehr scheinen sich hier die Bewegung der Beine und die Erwartung über ihre Folgen auf der Retina gegenseitig zu beeinflussen. Die Forscher folgern daher:

Wir können es fürs erste so formulieren: das laufende Tier »erwartet« eine ganz bestimmte retinale Bildverschiebung, die, sofern sie eintrifft, irgendwie neutralisiert wird. Trifft aber nach Vertauschung beider Augen eine retinale Bildverschiebung entgegen der erwarteten Richtung ein, so löst diese sofort eine optomotorische Wendung aus. Diese Wendung aber vergrößert die nichterwartete Bildverschiebung, und so schaukelt der Vorgang sich auf.⁶⁴

Dieses Aufschaukeln erinnert nicht von ungefähr an den „purpose tremor“ bei Wiener und damit das „hunting“ oder „singing“⁶⁵. Auch von Holst und Mittelstaedt interpretieren es im Sinne einer feedback-orientierten Regelungstechnik, nach der negatives Feedback stabilisierend wirkt, während positives Feedback zur Katastrophe führt.⁶⁶

Die Konsequenz ist, dass *Eristalis* nicht im Sinne der Theorie bedingter Reflexe einen Reflex einfach unterdrückt, sondern dass die Fliege mit ihrer Bewegung „rechnet“ (wobei das Rechnen auch bei von Holst und Mittelstaedt in Führungsstrichen steht). Denn „woher »weiß« das ZNS, welche Bildverschiebung es beim Laufen gerade

⁶² Ebd.

⁶³ Ebd., Hervorhebungen im Original.

⁶⁴ Ebd.

⁶⁵ Vergleiche 2.4.3.

⁶⁶ von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 465.

zu erwarten hat?“ Es muss entweder die Efferenz kennen, die an die Beine übermittelt wurde, oder die Bewegung der Beine selbst wahrnehmen – als Reafferenz. Klar aber scheint, dass Efferenz und/oder Reafferenz der Beine Eristalis' mit der retinalen Reafferenz (diesmal ohne Anführungsstriche) „verglichen“ werden.⁶⁷ Zwischen erwarteter und tatsächlicher Bildverschiebung scheint damit genau die algebraische Summierbarkeit „compensierender Innervationen“ zu bestehen, die bereits Mach gefordert hatte.⁶⁸

Diese Idee präzisieren von Holst und Mittelstaedt, wieder in überraschender Analogie zur Arbeit Machs, anhand des Lageorgans⁶⁹, das auf eine Neigung (in diesem Falle eines Fisches) aus der Normal-lage reagiert, und dessen Aktivierung eine zur Neigung proportionale Ausgleichsbewegung zur Folge hat. Diese „Lagereflexe“ scheinen ebenfalls die Bewegung des Fisches zu berücksichtigen. Wenn er beispielsweise eine andere Lage als die Normallage einnimmt, werden sie nicht etwa einfach gehemmt: „Auch die von der Norm abweichenden »Soll-Lagen« werden nämlich, wenn ein Anstoß von außen sie stört, durch die gleichen Korrekturbewegungen wiederhergestellt wie sonst die Normallage!“⁷⁰ Damit gilt, dass eine willentliche Bewegung über die Abweichung von der Ist-Lage, die diese Bewegung verursacht (ihre Reafferenz) „quantitativ“⁷¹ auf die Ausgleichsbewegung der Lagereflexe einwirkt.

Solchen Befunden stellen von Holst und Mittelstaedt schließlich ein formales Modell an die Seite, das gewissermaßen zu Ende bringt, was Mach fast fünfzig Jahre zuvor begonnen hatte. Im Einklang mit ihrer Rede von den „Soll-Lagen“ kybernetischer Teleologie werden Efferenz und Reafferenz zu einem abstrakten regelungstechnischen System verschaltet (Abbildung 42). Voraussetzung dieses Schrittes ist die Annahme, dass im ZNS tatsächlich gerechnet wird: Weil erstens die Sinneszellen (auch des Schweresinns) einen beständigen neuronalen Impulsstrom aussenden und eine Reaktion auf einen Reiz immer als Abweichung von dieser Ruhefrequenz auftritt und weil zweitens auch bei motorischer Inaktivität „höhere mit niederen Zentren“ ebenfalls über einen ständigen Impulsstrom verbunden sind⁷², können, mit Mach gesprochen, Innervationen antagonistisch sein und sich „algebraisch“ verstärken oder auslöschen.

67 von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 465.

68 Auch Mach stützt sich dabei auf die Beobachtung von Tieren in einem rotierenden Zylinder. Vergleiche Mach, *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, S. 117-122.

69 Also Machs Endorgans EO, oder genauer: des Utriculusstatoliths oder Otoliths, der der Wahrnehmung der Erdbeschleunigung dient. Vergleiche Kandel, Schwartz und Jessell, *Principles of Neural Science, Fourth Edition*, S. 804-805.

70 von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 465, Hervorhebung im Original.

71 Ebd., S. 466.

72 Ebd., S. 466-467.

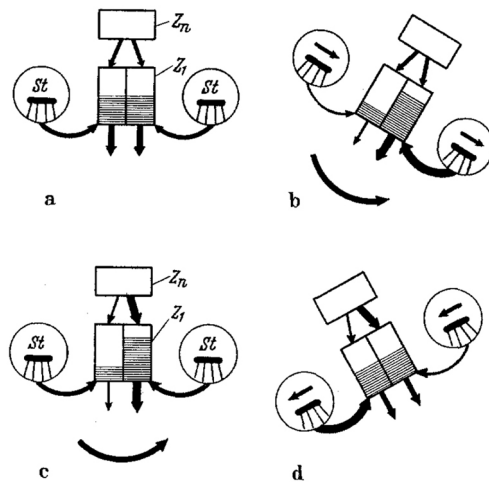


Abbildung 42: Lagereflexe als Ausgleichsbewegung (aus Erich von Holst und Horst Mittelstaedt. »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)« In: *Naturwissenschaften* 37.20 (1950), S. 464–476, S. 466).

Ein abstrahiertes „Lagezentrum“ Z_1 , das aus zwei Hälften besteht, empfängt nach diesem Modell einen ständigen Impulsstrom sowohl von den rechts- und linksseitigen Statolithen St als auch von höheren Zentren Z_n . Wird der Fisch um seine Längsachse gekippt, verringert sich durch diese Scherung die „Dauerafferenz“ des einen Statolithen, während die andere sich erhöht. Das Lagezentrum reagiert auf diese ungleiche Reizung mit der Aussendung eines ebenso ungleichen Impulsstroms an die motorischen Apparate, was die Kompensationsbewegung hervorruft, die die Reflextheorie „Lagereflex“ nennt.⁷³ Kommt der ungleiche Impulsstrom aber nicht aus den Statolithen, sondern aus Z_n , hat dies dasselbe Ungleichgewicht und dieselbe Ausgleichsbewegung zur Folge. „Diesen Vorgang nennt der Physiologe eine »Willkürbewegung«.“⁷⁴ Natürlich wird auch diese „Soll-Lage“ automatisch gegen passive Bewegungen stabilisiert, da auch hier jede Änderung des Zustroms von einem der Statolithen zu einer entsprechenden Änderung der Verhältnisse in Z_1 und deren augenblicklichem Ausgleich führt.

Diese ohnehin schon abstrakte Darstellung verallgemeinern von Holst und Mittelstaedt schließlich zur allgemeinen Fassung des „Reafferenzprinzips“ (Abbildung 43). Hier innerviert ein Zentrum Z_1 einen beliebigen Effektor EFF , während es seinerseits von höheren Zentren $Z_{2...n}$ innerviert wird. Ein „Kommando“ K von diesen Zentren – das nichts anderes ist, als eine Änderung des Impulsstroms nach Z_1 – hat eine Efferenz E zur Folge. Zusätzlich aber verursacht diese Efferenz eine „ihr streng zugeordnete [...] Aktivitätsänderung“, die nicht an den Effektor übermittelt wird: die „Efferenzkopie“ EK .

⁷³ Ebd., S. 467.

⁷⁴ Ebd., Hervorhebung im Original.

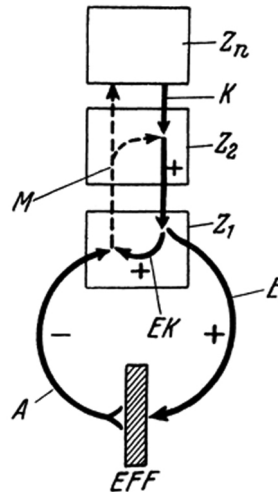


Abbildung 43: Das Reafferenzprinzip als Blockdiagramm (aus Erich von Holst und Horst Mittelstaedt. »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)« In: *Naturwissenschaften* 37.20 (1950), S. 464–476, S. 467).

E löst nun durch die Bewegung des Effektors EFF eine Reafferenz A aus. Reafferenz und Efferenzkopie treten nun „in Wechselwirkung“, wobei diese Wechselwirkung buchstäblich im Sinne eines errechneten Vergleichs zu verstehen ist: „Wir wollen die Efferenz und ihre Kopie hier willkürlich mit Plus (+), die Reafferenz mit Minus (–) bezeichnen.“⁷⁵ Im Falle einer Willkürbewegung heben sich beide auf und „das von Z_n absteigende Kommando fließt unbehindert als Efferenz heraus.“⁷⁶ Bei passiver Bewegung bleibt nach dem Vergleich von (nichtexistierendem) EK und A dagegen ein „Rest“, die von außerhalb des Organismus stammende „Exafferenz“ wird als Meldung M, zum Beispiel der eines Bewegt-Werdens, weitergereicht. Wird M darüber hinaus noch mit K verglichen, entsteht der geschlossene Kreis, der schon in der Regelung der Lage beschrieben wurde und der auch durch von Holst und Mittelstaedt als ein Fall von Selbstkorrektur im Sinne des Paradigmas der feedbackorientierten Regelungstechnik erkannt wird, die hinter dem Entstehen der Kybernetik steht:

In diesem Falle wird das System von Z_2 abwärts sich selbst im Gleichgewicht halten; es wird zu einem *Regel-system* im Sinne der Techniker. Nehmen wir etwa an, eine Einwirkung auf den Effektor EFF verursache eine *Zunahme* der –-Afferenz in Z_1 , so wird jetzt die aufsteigende –-Meldung in Z_2 das +-Kommando *verringern*, bis wieder Gleichgewicht herrscht. Und umgekehrt wird eine von au-

⁷⁵ von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 467.

⁷⁶ Ebd., S. 468.

unmittelbare Konsequenz des Modells. „In diesem Versuch wird also sozusagen die *Efferenzkopie selbst unmittelbar zu Gesicht gebracht*.“⁸⁰

Das Reafferenzprinzip sagt auch den komplementären Befund voraus, dass eine externe Bewegung des Augapfels (wieder nach rechts) ebenfalls ein scheinbares Springen der Umwelt zur Folge hat – diesmal aber in der anderen Richtung (also nach links): Im ersten Fall erzeugt K (positiv) keine Reafferenz A (negativ) und wird zu Meldung M (positiv) einer nicht-vorhandenen Bewegung. Im zweiten Fall erzeugt die passive Bewegung eine „retinale Exafferenz“ (negativ) die nicht summarisch aufgehoben und daher vollständig zur Meldung (negativ) wird. Das richtige Funktionieren des Sehens stellt sich so als Kombination beider Effekte dar:

Wenn wir nun den ersten Fall mit dem zweiten kombinieren, also ein gelähmtes Auge im Moment des Bewegungskommandos passiv nach rechts drehen oder, was natürlich einfacher ist, mit dem *intakten* Auge eine Blickbewegung nach rechts machen, dann entstehen tatsächlich zwei einander komplementäre Impulsströme [...]: eine Efferenzkopie, die uns die Umwelt nach *rechts*, und eine Exafferenz, die sie nach *links* bewegt sehen läßt. Da diese beiden sich aber schon auf tiefer Stufe (Z_1) gegenseitig annullieren, so kommt keine Meldung nach oben, wir nehmen weder das eine noch das andere wahr: die Umwelt steht, wie jedermann weiß, still. Was sie in diesem Fall auch »objektiv« tut. Die »richtige« Wahrnehmung erweist sich als die Summe zweier entgegengesetzter »falscher« Wahrnehmungen.⁸¹

Das Reafferenzprinzip wenden von Holst und Mittelstaedt noch auf weitere Formen von Augenbewegungen (wie etwa die Akkomodation), auf Gliedbewegungen und die Lokomotion an. Die Konstanz (von Form, Größe und Position) einer objektiven Umgebung schreiben sie dabei genauso dem rechnerischen Zusammenspiel aus Efferenzkopie und Reafferenz zu, wie die Fähigkeit, Eigenbewegungen von Bewegungen der Umwelt zu unterscheiden. Machs noch nicht vollständig formalisiertes Modell antagonistischer Innervationen erweist sich so als (ungenannte und wahrscheinlich den Autoren auch unbekannte) Vorlage für ein kybernetisches Modell der Wahrnehmung, das diese immer von den Handlungen her denkt, die Wahrnehmungsveränderungen zugrunde liegen. Die regelungstechnischen Wurzeln dieses Modells sind den Forschern dabei durchaus präsent. Mittelstaedt wird an anderer Stelle

80 von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 468, Hervorhebung im Original.

81 Ebd., S. 468-469, Hervorhebungen im Original.

explizit „Die Regelungstheorie als methodisches Werkzeug der Verhaltensanalyse“⁸² reflektieren.

Eine derartige dezidiert regelungstechnische Physiologie findet sich zur gleichen Zeit auch auf der anderen Seite des Atlantik. Fitts wird bei der Formulierung von *Fitts' Law* das motorische System des Menschen explizit als Servomechanismus beschreiben⁸³. Und auch Wiener macht bei der Formulierung der Kybernetik klar: „The central nervous system no longer appears as a self-contained organ, receiving inputs from the senses and discharging into the muscles. On the contrary, some of its most characteristic activities are explicable only as circular processes [...]“⁸⁴

Vor allem aber veröffentlicht zur gleichen Zeit der Veröffentlichung des Reafferenzprinzips in den USA der spätere Medizin-Nobelpreisträger Roger Wolcott Sperry eine Studie, die sich ebenfalls mit dem optomotorischen Reflex befasst – der hier als „optokinetic response“ bezeichnet wird⁸⁵. In weiterer Analogie zu von Holst und Mittelstaedt unternimmt auch Sperry die Wende um 180°, indem er die Augen von 37 Fischen chirurgisch um 180° dreht.⁸⁶ Denn hierbei, so ist bereits bekannt, kommt es zur selben unkontrollierten Kreisbewegung, wie nach dem Umdrehen des Halses von *Eristalis*. Da ein um 180° gedrehter Augapfel bei einer Vorwärtsbewegung des Fisches dieselbe retinale Stimulation erhält, wie ein normaler Augapfel während einer Rückwärtsbewegung – während zugleich das gedrehte Auge eine unkontrollierte Kreisbewegung verursacht, das normale Auge aber nicht – kann der optische Fluss auf der Retina nicht alleine Ursache des Phänomens sein. Auch Sperry folgert daraus, dass das neuronale Erregungsmuster („excitation pattern“), das die Bewegung verursacht, kompensierend auf die Wahrnehmung des optischen Flusses einwirken muss: „Thus, any excitation pattern that normally results in a movement that will cause a displacement of the visual image on the retina may have a corollary discharge into the visual centers to compensate for the retinal displacement.“⁸⁷ Sperrys „corollary discharge“ ist dabei nichts anderes als die Efferenzkopie und als Begriff für die Efferenzkopie in der visuellen Wahrnehmung bis heute in Gebrauch⁸⁸. Anders als von Holst und Mittelstaedt verweist Sperry sogar auf die „Intensität unserer Willensanstrengung“ bei Helmholtz.⁸⁹

82 Horst Mittelstaedt. »Die Regelungstheorie als methodisches Werkzeug der Verhaltensanalyse«. In: *Naturwissenschaften* 48.8 (1961), S. 246–254.

83 Fitts, »The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement«, S. 262.

84 Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 8.

85 Roger W. Sperry. »Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion.« In: *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 43.6 (1950), S. 482–489.

86 Ebd., S. 483.

87 Ebd., S. 488.

88 Wexler und van Boxtel, »Depth perception by the active observer«, S. 435.

89 Sperry, »Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion.«, S. 488.

8.5 WAHRNEHMUNG UND ERWARTUNG

Diese Veröffentlichungen sind keineswegs als Irrwege einer Physiologie um 1950 zu betrachten, sondern bis heute kanonisch. Ihre Wirkung entfalten sie nicht nur in der Forschung zur Raumwahrnehmung, sondern immer dann, wenn die interne Wechselwirkung von Aktivität und Wahrnehmung Thema ist⁹⁰ – zum Beispiel, wenn es um das schlichte subjektive Erleben einer Reafferenz geht. Denn was auf uns einwirkt, fühlt sich anders an, wenn es von uns selbst verursacht wurde. Dies wurde für das Zufügen von Schmerzen genauso gezeigt wie für das Kitzeln.

Lässt man eine Versuchsperson eine Kraft auf eine andere Person ausüben, und bittet man beide, die Kraft mit derselben Kraft zu erwidern, kommt es zur „force escalation“: Die ausgeübten Kräfte steigen rapide an – auch wenn die Anweisungen für die Versuchspersonen auf das Erreichen eines Kräftegleichgewichts ausgelegt sind.⁹¹ Der einfache Grund lässt sich in einem weiteren Experiment verfolgen: Lässt man eine Versuchsperson eine Kraft, die von außen (durch einen Motor) auf sie einwirkt, *an sich selbst* reproduzieren, kommt es zum gleichen Effekt. Die Versuchsperson unterschätzt die von ihr ausgewirkte Kraft konsequent und stimuliert sich stärker, als sie von außen stimuliert wurde. Dieselbe Stimulation wird augenscheinlich als weniger stark wahrgenommen, wenn sie selbst verursacht wurde. Den Effekt schreiben die Forscher hinter der entsprechenden Studie – unter Verweis auf von Holst und Sperry – internen Vorhersagen über die eigene Wirksamkeit zu. Diese würden hier, genau wie die Efferenzkopie der Bewegungsanweisung an die Muskulatur des Auges, mit der sensorischen Veränderung, die die entsprechende Efferenz hervorruft, negativ verrechnet und diese so dämpfen.

Ähnliches gilt für das Kitzeln. Denn „[a] self-produced tactile stimulus is perceived as less ticklish than the same stimulus generated externally.“⁹² Auch dieser Sachverhalt lässt sich experimentell nachweisen. Mittels bildgebender Verfahren lässt sich darüber hinaus zeigen, dass beim Selbst-Kitzeln nicht nur der somatosensorische Kortex weniger aktiv ist als beim Gekitzelt-Werden. Vor allem hängt dieses Verhalten mit dem Verhalten von Teilen des Kleinhirns zusammen. Das Kleinhirn gilt bereits zur Zeit Wieners als Instrument zur Vorher-

⁹⁰ Auch die Vertreter eines *Common Coding* verweisen auf das Reafferenzprinzip. Denn dessen Voraussetzung, dass Efferenzkopie und Reafferenz verrechnet werden können, bedeutet natürlich auch, dass ihre Kodierungen kompatibel sind. Ob dies aber tatsächlich bedeutet, dass was hier verrechnet wird „representations on the perception and action side“ sind, sei dahingestellt. Hommel u. a., »The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning«, S. 854.

⁹¹ Sukhwinder S. Shergill u. a. »Two eyes for an eye: the neuroscience of force escalation«. In: *Science* 301 (2003), S. 187.

⁹² Sarah-Jayne Blakemore, Daniel M. Wolpert und Chris D. Frith. »Central cancellation of self-produced tickle sensation«. In: *Nature Neuroscience* 1.7 (1998), S. 635–640, S. 635.

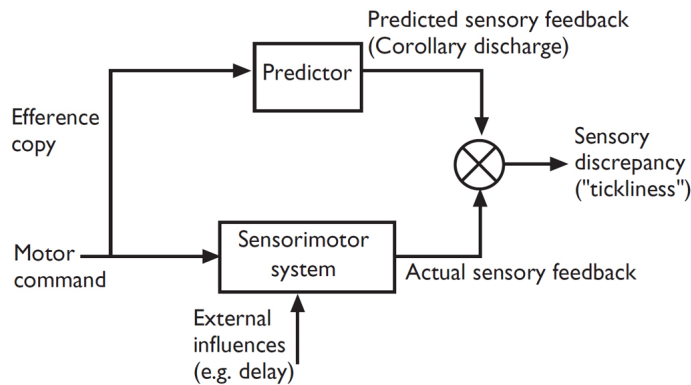


Abbildung 45: Blockdiagramm des (Selbst-)Kitzelns (aus Sarah-Jayne Blakemore, Daniel M. Wolpert und Chris D. Frith. »Why can't you tickle yourself?« In: *Neuroreport* 11.3 (2000), R11–R16, R12).

sage der Folgen körperlicher Aktivität – eine Funktion, deren pathologische Störung sich so treffend im *purpose tremor* zeigt. Die Experimente zum Kitzeln legen jetzt nahe, dass diese Vorhersagen als Folge eines Vergleichs von vorhergesagter und tatsächlicher sensorischer Stimulation aufzufassen sind⁹³ – und damit der „Verrechnung“ von Reafferenz und Efferenzkopie. Denn dieser Vergleich erfolgt tatsächlich graduell: Kitzelt man sich selbst, indem man mit der einen Hand einen Roboterarm bewegt, während ein zweiter die Bewegung auf die andere Hand überträgt, unterliegt die „tickliness“ bei der Wiedergabe genau den raum-zeitlichen Parametern, die wir bei Action Capture kennengelernt haben: Sowohl die Dauer der zeitlichen Verzögerung, als auch der Grad der Veränderung der Richtung sind proportional dazu, wie kitzelig die Bewegung erlebt wird. Wieder unter Verweis auf Efferenzkopie und *corollary discharge* läuft auch dieses Experiment auf ein regelungstechnisches Blockdiagramm hinaus (Abbildung 45) nach dem gilt: „the extent to which self-produced tactile sensation is attenuated (i.e. its »tickliness«) is proportional to the error between the sensory feedback predicted by an internal forward model of the motor system [auf Basis der Efferenzkopie] and the actual sensory feedback produced by the movement [Reafferenz].“⁹⁴

Es ist die „sensory discrepancy“, die hier zur Wahrnehmung wird, was identisch ist mit dem rechnerischen Übrigbleiben einer aufsteigenden Meldung bei von Holst und Mittelstaedt. Damit erklärt sich der schwierige Begriff der Ähnlichkeit oder Kompatibilität in der Forschung zur *S-R compatibility* oder dem hier vorgestellten Experiment zum Einfluss der Ähnlichkeit von In- und Output auf die subjektive

⁹³ Ebd., S. 636.

⁹⁴ Sarah-Jayne Blakemore, Chris D. Frith und Daniel M. Wolpert. »Spatio-Temporal Prediction Modulates the Perception of Self-Produced Stimuli«. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 11.5 (1999), S. 551–559, S. 551.

Verschmelzung beider.⁹⁵ Es ist keine objektiv bestimmbare Ähnlichkeit, die das Verhältnis von Stimulus und Antwort bestimmt, sondern die subjektive Diskrepanz zwischen der Wahrnehmungsveränderung, die das „forward model“ aufgrund einer ausgeführten Bewegung erwarten lässt, und der tatsächlich wahrgenommenen Veränderung. Wenn das Training an einem invertierten Mauszeiger die Richtung von Action Capture umkehren kann, dann zeigt das, dass dieses Modell dabei einerseits auf der objektiv bestimmbaren Muskelaktivität basiert, andererseits aber auf den erlernten und sich ständig anpassenden Erwartungen über die eigene Wirksamkeit im Umgang mit der Umwelt. Tatsächlich erklärt sich Action Capture so als Effekt von Efferenzkopie und „forward model“, die hier die Wahrnehmung der Bewegungsalternative unterdrücken, die der ausgeführten Bewegung entgegen läuft. Oben gegebene Antwort auf von Schillers Frage nach der Bestimmung des Ausfalls einer stroboskopischen Bewegungsalternative kann so weiter präzisiert werden:⁹⁶ *Die Efferenzkopie einer Willkürbewegung bestimmt den Ausfall einer stroboskopischen Bewegungsalternative.*

Efferenzkopie und *corollary discharge* benennen damit die interne Verschaltung von Bewegung und (Raum-)Wahrnehmung, deren Existenz nicht nur von Action Capture nahegelegt wird, sondern die auch – wie Poincaré gezeigt hat⁹⁷ – aus theoretischen Gründen notwendig ist. Sie entstehen in einer „kybernetischen“ Wahrnehmungsforschung, die Wahrnehmen eben nicht von einer vorausgesetzten Umwelt her denkt, sondern im Gegenteil von den Handlungen her, die Umweltveränderungen verursachen oder ausgleichen. Insbesondere die Räumlichkeit dieser Umwelt wird damit, wie von Poincaré gefordert, als Folge des regelhaften Zusammenhangs körperlicher Aktivität und Wahrnehmungsveränderungen in allen Modalitäten verstehbar – wobei sie eine „interne“ Vergleich- oder Verrechenbarkeit von Motorik und Sensorik voraussetzt. Raum wird damit zur Folge der Rückkopplung mit der Umwelt. Damit erklärt sich „Space“ – anders vielleicht, als von Gibson gedacht und unabhängig von Fragen illusionistischer Repräsentation zentralperspektivischer Räumlichkeit – ganz grundsätzlich als „Cyberspace“.

Zentrum dieses Raums bildet die Zirkularität der *agency* in rückgekoppelten Systemen. Wenn Gibson also das Computerspielen und den Cyberspace als „one of those closed systems out of a Pynchon novel“ beschreibt, ist er mit seiner Beschreibung vermutlich näher an diesem kybernetischen Raummodell, als ihm klar ist. Denn wahrscheinlich denkt er hier an eine Passage aus „Gravity’s Rainbow“, in der es heißt:

⁹⁵ Vergleiche 7.2.2.

⁹⁶ Vergleiche 1.2.2.

⁹⁷ Vergleiche hierzu auch von Foerster, *KybernEthik*, S. 275.

The colonel is sitting, waiting, under an electric bulb. The bulb is receiving its power from another enlisted man, who sits back in the shadows hand-pedaling the twin generator cranks. It is Eddie's friend Private Paddy (»Electro«) McGonigle, an Irish lad from New Jersey [...]

With his crank here young Paddy is practicing another form of Eddie's gift, though he's transmitting not receiving. The bulb appears to burn steadily, but this is really a succession of electric peaks and valleys, passing by at a speed that depends on how fast Paddy is cranking. It's only that the wire inside the bulb unbrightens slow enough before the next peak shows up that fools us into seeing a steady light. It's really a train of imperceptible light and dark. Usually imperceptible. The message is never conscious on Paddy's part. It is sent by muscles and skeleton, by that circuit of his body which has learned to work as a source of electrical power.⁹⁸

Paddy hat gelernt, das Flackern der Lampe zu kontrollieren. Er übermittelt Nachrichten, die seine Muskeln in den Rhythmus der Kurbeln kodieren. Und auch wenn das „pedaling“ hier von Hand erfolgt, wirft die Szene in ihrer offensichtlichen Analogie zu *Legible City* doch die Frage auf, ob hier nicht die Maschine gewinnen müsste. Ist nicht der Fahrradfahrer oder der Soldat an der Handkurbel der Befehlsempfänger? Und tatsächlich:

Wotta history, this bulb, if only it could speak – well, as a matter of fact, it can speak. It is dictating the muscular modulations of Paddy McGonigle's cranking tonight, this is a loop here, with feedback through Paddy to the generator again.⁹⁹

Zwar diktiert die Lampe hier, was zu tun ist, das aber auf Grundlage dessen, was getan wird. Pynchon macht damit erneut klar, was Feedback bedeutet. Die *agency* des Systems aus Paddy, dem Generator und der Lampe ist nicht lokalisierbar und wer hier gewinnt bleibt Setzung des Betrachters. Die Kritik an der Programmierung der Nutzer durch Computer ist genauso berechtigt, wie die Begrüßung interaktiver Systeme als Systeme eines freien und immer unvollendeten Spielens. Und der Cyberspace ist genauso illusionistisches Raummodell wie Resultat seiner Erkundung.

Dieser im Wortsinne kybernetische Raum impliziert dabei ausgerechnet die Raumvorstellung der Geometrie. Bei Ernst dient das Insistieren auf der Kybernetik als Zentrum des Cyberspace-Begriffs der Etablierung eines „raumlosen“, weil relationalen und topologischen

⁹⁸ Thomas Pynchon. *Gravity's Rainbow*. New York, NY: Viking Press, 1973, S. 641-642.

⁹⁹ Ebd., S. 647.

Raubbegriffs, der das Diagramm über die Karte stellt, um Raum unter dem Eindruck technischer Medien zu „remathematisieren“¹⁰⁰. Ernst folgt damit der Argumentation Manovichs, nach der die Zentralperspektive als symbolische Form der Moderne von der relationalen Struktur von Datenbanken abgelöst wird. Zwar macht Ernsts „genuin medienarchäologische Perspektive“ unmissverständlich klar, dass „Mapping“ vor allem ein „In-Relation-Setzen von Daten“ ist.¹⁰¹ Der Cyberspace ist aber trotzdem und gerade als relationaler Raum Grundlage des Raumbegriffs, den Ernst zu überwinden sucht. Seine Räumlichkeit ist nicht nur eine Metapher, sondern auch Produkt seiner relationalen Verfasstheit. Denn die Relationen einer Feedbackmaschine sind nicht nur Relationen zwischen Datensätzen (wie in einer Datenbank), sondern auch immer Mensch-Computer-Relationen (in ihrem Gebrauch). Sie führen in ihrer zirkulären Kopplung dazu, dass aus menschlichen Handlungen, errechneten Reaktionen und deren internem Vergleich Räumlichkeit selbst entstehen kann – als Vorstellungs- und sogar geometrischer Raum. Das Verhältnis geometrischen Raums zu dessen relationalem oder topologischem Gegenstück ist also keines der Opposition, sondern schon immer eines der Verflechtung.¹⁰²

Nicht zufällig fällt die Formulierung von Efferenzkopie und *corollary discharge* in die Hochzeit der klassischen Regelungstechnik. Sperry, von Holst und Mittelstaedt argumentieren hier im grundsätzlichen Einklang mit den „Technikern“ und ohne Rückgriff auf eine *philosophers' physics* der Regeln und Bedeutungen.

Die Frage, von welcher Welt beim Interagieren die Rede ist, erhält so im Lichte von Action Capture, Reafferenz und Efferenzkopie im Bezug auf ihre Räumlichkeit „behind the screen“ eine erste Antwort. Zeit, erneut nach den Dingen darin zu fragen.

¹⁰⁰ Ernst, *Jenseits des Archivs: Bit Mapping*.

¹⁰¹ Ebd.

¹⁰² Zum Umgang der Medienkunst mit unterschiedlichen Raumvorstellungen und -technologien vergleiche Laura Popplow und Lasse Scherffig. »Locative Arts – Neue Erzählung des Raums?« In: *Locative Media. Medialität und Räumlichkeit – Multidisziplinäre Perspektiven zur Verortung der Medien/Multidisciplinary Perspectives on Media and Locality*. Hrsg. von Regine Buschauer und Katharine S. Willis. Bielefeld: transcript, 2013, S. 277–295. Ausführliche Studien zu relationalen Raumbegriffen und zum Cyberspace finden sich in Regine Buschauer. *Mobile Räume. Medien- und diskursgeschichtliche Studien zur Tele-Kommunikation*. Bielefeld: transcript, 2010. Zur Einführung vergleiche auch Jörg Dünne und Stephan Günzel, Hrsg. *Raumtheorie*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2006.

OBJEKT UND HANDLUNG

In direkter und indirekter Nachfolge der Kybernetik haben unterschiedliche Schulen versucht, ein Denken im Sinne des Reafferenzprinzips als grundsätzliches Modell einer Psychologie der Wahrnehmung eines „observer in action“ zu entwickeln. Überlegungen zu „undifferenzierter Kodierung“ oder „sensomotorischen Kontingenzen“ machen dabei klar, dass nicht nur die Wahrnehmung von Räumlichkeit Produkt unserer Handlungen ist. Vielmehr scheinen auch die Gegenstände unserer Umwelt (In-)Varianzen unseres Umgangs mit ihnen zu sein und die Wahrnehmung der Welt ein Zusammenspiel aus unseren Handlungen und unserer kulturell verankerten Körperlichkeit – „enaction“ und „embodiment“. Studien zur Rolle verkörperten Handelns in der Seenavigation und zum „Verstehen“ interaktiver Systeme machen deutlich, dass die Gegenstände, mit denen wir umgehen, tatsächlich Produkte dieses Umgangs sind. Diese Idee erweist sich als zentrales Argument einer Studie Piagets, die von Foerster schließlich in ein kybernetisches Modell der Objektwahrnehmung überführt, nach dem Objekte und Handlungen sich gegenseitig hervorbringen – was die Welten, mit denen wir interagieren, und die Objekte darin endgültig zum Produkt der Interaktion erklärt.

9.1 ENACTION

9.1.1 Undifferenzierte Kodierung

Eine kybernetische Physiologie im Sinne der Reafferenz denkt die Umwelt vom Umgang mit ihr her. Räumlichkeit basiert nach ihr auf dem regelungstechnischen Vergleich von Reafferenz und Efferenzkopie und insbesondere auf dem „Studium der Gesetze“¹, die sie miteinander verknüpfen. Für sie gilt ganz selbstverständlich, dass für einen Organismus gelten muss, „das einzige, was er »weiß«, sind die Wahrnehmungswechsel, die er teilweise durch seine eigenen motorischen Aktivitäten kontrollieren kann.“²

Tatsächlich kann die Idee einer „passiven“ Wahrnehmung nicht einmal befriedigend erklären, wieso wir überhaupt verschiedene Wahrnehmungsmodalitäten unterscheiden können – warum und worin sich also das Ticken der Pendeluhr von der Bewegung eines Sterns im Okular des Passageninstruments unterscheidet. Der Physiologe Johannes Müller, zu dessen Schülern auch von Helmholtz gehörte, hat bereits im neunzehnten Jahrhundert festgehalten, „dass die Sinnesnerven keine blossen Leiter der Eigenschaften der Körper zu unse-

¹ Poincaré, *Wissenschaft und Hypothese*, S. 59.

² von Foerster, *Kybernetik*, S. 100.

rem Sensorium sind, und dass wir von den Gegenständen ausser uns nur durch die Eigenschaften unserer Nerven und ihre Fähigkeit von äusseren Gegenständen stärker oder geringer verändert zu werden, unterrichtet werden.“³ Mit anderen Worten: Die Nerven übermitteln nur, wie stark eine Sinneszelle gereizt wurde, nicht aber wovon.

Diese Feststellung ist zwar eine wahrnehmungsphysiologische Trivialität, die aus der Transduktion von Energie in elektrische Aktivität folgt, die alle Sinneszellen vornehmen⁴, und die sich letztlich in genau der Abweichung von der Ruhefrequenz von Nervenzellen äußert, die auch dem „Rechnen“ des Reafferenzprinzips zu Grunde liegt. Trotzdem ist aber alles andere als klar, wieso die gleiche elektrische Aktivität verschiedener Nervenzellen zu verschiedenen Empfindungen führt. Auf dieses Problem hat insbesondere von Foerster wiederholt als „Satz der undifferenzierten Kodierung“ hingewiesen:

Die Erregungszustände einer Nervenzelle kodieren *nicht* die Natur der Erregungsursache. (Kodiert wird nur: »so und so viel an dieser Stelle meines Körpers«, aber nicht »was«.)⁵

Dies gilt nicht nur für die taktile Stimulation der Körperoberfläche, sondern für alle Sinneszellen, auch die der Retina. Tatsächlich unterscheiden sich unsere Sinneszellen insgesamt weit weniger stark voneinander, als man annehmen könnte: im Wesentlichen unterscheidet sich lediglich ihre Position und ihre spezifische Reizbarkeit beim Vorhandensein bestimmter Formen von Energie (wie Licht, Schall, Druck, Wärme oder Chemikalien).

An dieser Tatsache setzt von Foerster eine Argumentation an, die daraus ebenfalls eine Kybernetik der Wahrnehmung entfaltet: Den Sinneszellen eines Lebewesens lassen sich demnach Positionen auf einer abstrakten „repräsentativen Einheitskugel“⁶ zuordnen – „einer Kugel mit einer geraden Anzahl von $2p$ Löchern, die paarweise durch Röhren verbunden sind“⁷. Außen und Innen, Ektoderm und Endoderm eines Organismus werden damit zur Oberfläche einer solchen Kugel und den Innenwänden der Röhren darin (Abbildung 46). Dieser Kugel ordnet von Foerster, analog zu den geodätischen Koordinaten der Erde, ein Koordinatensystem zu, das jede Position auf ihrer Oberfläche als „autologische Koordinaten“ beschreibt. Diese beziehen sich lediglich auf die Kugeloberfläche und damit den Körper

3 Johannes Müller. *Handbuch der Physiologie des Menschen für Vorlesungen*. Zweiter Band. Koblenz: Verlag von J. Hölscher, 1840, S. 258.

4 Kandel, Schwartz und Jessell, *Principles of Neural Science*, Fourth Edition, S. 416.

5 von Foerster, »Kybernetik einer Erkenntnistheorie«, S. 56, Hervorhebung im Original.

6 Ebd., S. 58.

7 Heinz von Foerster. »Gedanken und Bemerkungen über Kognition«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1970], S. 77–102, S. 85.

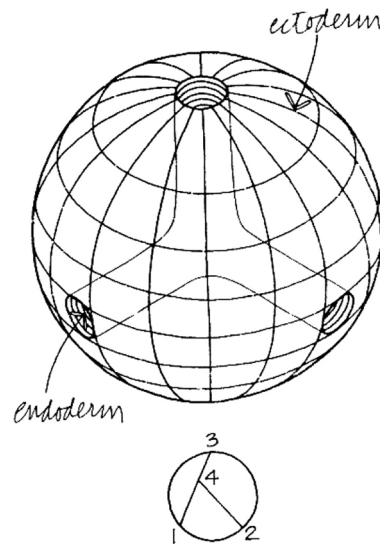


Abbildung 46: Repräsentative Einheitskugel (aus Heinz von Foerster. »Gedanken und Bemerkungen über Kognition«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1970], S. 77–102, S. 86).

des Organismus, den sie beschreibt. Als „absolute Invarianten“ sind sie gegenüber jeder Verformung dieses Organismus stabil.⁸

Getreu dem Satz von der undifferenzierten Kodierung argumentiert von Foerster nun, dass die räumliche Verteilung eines Stimulus in der Umwelt des Organismus und insbesondere auch die euklidischen Koordinaten der Umwelt selbst lediglich auf Grundlage der Reizung von Sinneszellen „errechnet“ werden können, deren Position nur in den „selbstbezüglichen“ Koordinaten der Kugeloberfläche vorliegen. Zwar reichen diese Informationen mitunter aus – zum Beispiel lässt sich aus der Reizung der räumlich getrennten Sehzellen beider Augen innerhalb gewisser Grenzen auf die Position eines Stimulus in der Umwelt schließen (Stereoskopie) – in den meisten Fällen ist die Berechnung der räumlichen Verteilung eines Stimulus über dem (autologischen) sensorischen Feld des Organismus aber nicht möglich.⁹ Erst wenn „Veränderungen der Sinneswahrnehmung [...] mit Ursachen dieser Veränderungen, die vom Organismus kontrolliert werden, verglichen werden“¹⁰, wird das Problem im allgemeinen lösbar. Eine Umwelt samt euklidischer Koordinaten der darin befindlichen Stimuli wird also erst wahrnehmbar, wenn Bewegung und Wahrnehmung, Efferenzkopie und Reafferenz, in Wechselwirkung treten. Und weil nach dem Satz von der undifferenzierten Kodierung alle Eigenschaften eines Stimulus außer seiner Intensität lediglich über die autolo-

⁸ von Foerster, »Kybernetik einer Erkenntnistheorie«, S. 58.

⁹ von Foerster, »Gedanken und Bemerkungen über Kognition«, S. 94-95.

¹⁰ Ebd., S. 95.

gischen Koordinaten des Ortes der Reizung kodiert werden, betrifft dies nicht nur dessen Position, sondern auch seine Modalität.¹¹

Poincarés „Studium der Gesetze“ des Zusammenhangs von Muskelaktivität und Veränderung der Wahrnehmung, das zunächst als Reafferenzprinzip reformuliert wird, erfährt so bei von Foerster eine weitere Reformulierung – wieder unter Rückgriff auf mathematische Überlegungen zur Räumlichkeit und unter Verweis auf sowohl Poincaré¹² als auch von Holst und Mittelstaedt¹³ –, wobei es nun nicht nur der Raumwahrnehmung, sondern der gesamten Wahrnehmung zugrunde liegt. Mit diesem Schritt weg von der Beschreibung der „objektiven“ Umwelt eines Organismus, wie sie einem externen Beobachter erscheint, beginnt von Foerster einen der Ansätze einer Kybernetik zweiter Ordnung¹⁴, die die zirkuläre Abhängigkeit von Organismus und Umwelt ernst nehmen und zu Ende denken – und von denen einige im Folgenden noch genauer anzusehen sind.

9.1.2 *Sensomotorische Kontingenzen*

Es ist das Prinzip der undifferenzierten Kodierung, in dessen Zeichen dieses kybernetische Modell der Wahrnehmung in jüngerer Zeit wieder in die Kognitionswissenschaften einzieht. Denn trotz aller Fortschritte kognitivistischer Wahrnehmungsforschung gilt nach wie vor, dass erstens nicht klar ist, wie der Zugriff auf eine interne Repräsentation der Umwelt zu einem bewussten Erleben dieser Umwelt führen sollte und zweitens, wieso dieses Erleben überhaupt Modalitäten voneinander unterscheidet:

Why is the experience of red more like the experience of pink than it is like that of black? And, more generally, why is seeing red very different from hearing a sound or smelling a smell?¹⁵

Der Neurowissenschaftler Kevin O'Regan und der Philosoph Alva Noë geben sich nicht mit dem bloßen Verweis darauf zufrieden, dass (räumlich-anatomisch) verschiedene „pathways“ neuronaler Verarbeitung und Übertragung das Problem der undifferenzierten Kodierung umfassend erklären würden und gelangen bei ihrer Suche nach Alternativen ohne direkten Verweis auf die Kybernetik ebenfalls zu einer Kybernetik der Wahrnehmung.

¹¹ von Foerster, »Gedanken und Bemerkungen über Kognition«, S. 92.

¹² Heinz von Foerster. »Epistemologie der Kommunikation«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1980], S. 269–281, S. 275.

¹³ von Foerster, »Kybernetik einer Erkenntnistheorie«, S. 57.

¹⁴ Vergleiche hierzu Froese, »From Cybernetics to Second-Order Cybernetics?: A Comparative Analysis of Their Central Ideas«.

¹⁵ J. Kevin O'Regan und Alva Noë. »A sensorimotor account of vision and visual consciousness«. In: *Behavioral and brain sciences* 24 (2001), S. 939–1031, S. 940.

Diese geht wenig überraschend davon aus, dass Wahrnehmen als Aktivität aufzufassen ist. Insbesondere das Sehen wird so nicht Zugriff auf interne Repräsentation, sondern „*exploratory activity*“¹⁶, die sich immer direkt auf die externe Umwelt bezieht. Setzt man in diesem Sinne nicht voraus, dass sich das, was als Licht auf die Retina fällt, in den bedeutungstragenden Abstraktionen einer *philosopher's physics* interner Repräsentation wiederfindet, ist die Frage danach, wie und was denn gesehen wird, neu zu stellen. O'Regan und Noë übertragen sie in ein technologisches Setting und halten fest:

Imagine a team of engineers operating a remote-controlled underwater vessel exploring the remains of the Titanic, and imagine a villainous aquatic monster that has interfered with the control cable by mixing up the connections to and from the underwater cameras, sonar equipment, robot arms, actuators, and sensors. What appears on the many screens, lights, and dials, no longer makes any sense, and the actuators no longer have their usual functions.

What can the engineers do to save the situation? By observing the structure of the changes on the control panel that occur when they press various buttons and levers, the engineers should be able to deduce which buttons control which kind of motion of the vehicle, and which lights correspond to information deriving from the sensors mounted outside the vessel, which indicators correspond to sensors on the vessel's tentacles, and so on.¹⁷

Die Analogie zu einem Gehirn, das nicht „wissen“ kann, welche Nervenzellen ihm die Informationen zu welcher Modalität liefern, und das nur Wahrnehmungswechsel in Beziehung zu der von ihm verursachten motorischen Aktivität setzen kann, ist offensichtlich. Die „structure of the changes“ bezeichnen O'Regan und Noë als „sensomotorische Kontingenzen“. Sie schreiben:

[W]hat does differentiate vision from, say, audition or touch, is the structure of the rules governing the sensory changes produced by various motor actions, that is, what we call the sensorimotor contingencies governing visual exploration. Because the sensorimotor contingencies within different sensory domains (vision, audition, smell, etc.) are subject to different (in)variance properties, the structure of the rules that govern perception in these different modalities will be different in each modality.¹⁸

¹⁶ Ebd., Hervorhebung im Original.

¹⁷ Ebd.

¹⁸ Ebd., S. 941.

Wahrnehmen wird so zur aktiven Ausübung der erlernten „mastery“¹⁹ über die sensomotorischen Kontingenzen. Und die unterschiedlichen (In-)Varianzen dieser gesetzmäßigen Zusammenhänge sind Grundlage der Unterscheidbarkeit von Modalitäten. Denn die Bewegung des Auges erzeugt zum Beispiel charakteristische Veränderungen der Lichtverhältnisse auf der Netzhaut, deren Zusammenhang mit den Augenbewegungen erlernt werden kann. Die Veränderung des Hörens durch das Bewegen der Augen äußert sich dagegen – wenn überhaupt – völlig anders. Die „structure of the rules that govern perception“ ist damit nichts anderes als Resultat des Studiums der Gesetze des Zusammenhangs von Muskelaktivität und Wahrnehmung bei Poincaré. Und gerade weil die Autoren sich an anderer Stelle durchaus auf ihn beziehen, ist es schon verwunderlich, dass der umgehende Verweis auf dessen Argumentation hier fehlt.

Das Erleben einer externen Umwelt basiert so nicht auf dem Zugriff auf interne Repräsentationen, sondern auf dem erlernten Zugriff auf die Umwelt selbst: „visual experience is a mode of activity involving practical knowledge about currently possible behaviors and associated sensory consequences.“²⁰ Die Welt wird damit zu ihrer eigenen Repräsentation, einem „outside memory“²¹.

Das Konzept der sensomotorischen Kontingenzen beschreibt aber nicht nur, dass die Unterscheidbarkeit von Modalitäten Folge der Interdependenz von Handeln und Wahrnehmen ist. Es beschreibt auch die Idee von Objekt und Form. O'Regan und Noë unterscheiden die Kontingenzen der Modalitäten (die wesentlich vom jeweiligen Wahrnehmungsapparat abhängen) von denen im Umgang mit Objekten (die wesentlich von diesen Objekten abhängen). Denn so wie verschiedene Modalitäten sich gerade in ihrer unterschiedlichen Abhängigkeit von der eigenen Aktivität unterscheiden, so gilt dies auch für die Eigenschaften von Objekten, wie ihre Räumlichkeit (wie wir bereits gesehen haben) und ihre Form.

Untersuchungen von blind geborenen Menschen, deren Sehfähigkeit chirurgisch hergestellt wurde, zeigen eindrucklich, wie die Idee einer einheitlichen und unveränderlichen Form erst erlernt werden muss:

One such patient, cited by Helmholtz (1909/1925), is surprised that a coin, which is round, should so drastically change its shape when it is rotated (becoming elliptical in projection).²²

Zunächst sind die scheinbaren Formveränderungen, die sich durch die Bewegung eines Objektes oder von einem selbst ergeben, nämlich

19 O'Regan und Noë, »A sensorimotor account of vision and visual consciousness«, S. 943.

20 Ebd., S. 946.

21 Ebd.

22 Ebd., S. 942.

kaum mit der Idee einer stabilen Form vereinbar. Erst das Erlernen der Gesamtmenge der Veränderungsmöglichkeiten eines Objektes ermöglicht diese:

The idea we wish to suggest here is that the visual quality of shape is *precisely* the set of all potential distortions that the shape undergoes when it is moved relative to us, or when we move relative to it.²³

Es sind also wieder die (In-)Varianzen der scheinbaren Veränderung von Form unter der Bedingung des Handelns, die den Formbegriff als Abstraktion erst ermöglichen.

Vor dem Hintergrund solcher Überlegungen wundert es nicht, dass sich die Frage nach den „Ortszellen“, die räumliche Positionen auf einer neuronalen Karte im Hippocampus zu codieren scheinen, auch so verhandeln lässt, dass sie ihre Rolle als mentale Repräsentationen der Räumlichkeit einer Umwelt vollständig verlieren. Denn die neuronale Aktivität des Hippocampus ist nicht ausschließlich ortsbezogen. Sie nimmt vielmehr auch eine wichtige Rolle für bestimmte Funktionen des Langzeitgedächtnisses ein.²⁴ Ändert sich nun das Experimentalsystem, das die *place cells* als epistemische Dinge erst hervorbringt, so ändert sich die Rolle hippocampaler Neuronen mitunter grundlegend. Müssen Ratten zum Beispiel keine Orte finden, sondern Gerüche erkennen, wird plötzlich auch die Identität von Gerüchen im Hippocampus „abgebildet“²⁵. Was hier zu finden ist, ist also eventuell der Handlungszusammenhang, den das Experimentalsystem erst erzeugt, dessen *rewards* als Invarianten den Zusammenhang von Aktivität und Erleben strukturieren – was sich im Gedächtnis der Tiere niederschlägt: „For (lab) rats performing spatial tasks, it should not be surprising that »places« are a useful memory item. [...] the spatial activity [von »Ortszellen«] might reflect the spatial nature of the task that the animals are performing.“²⁶

Ganz grundsätzlich könnte also die Kombination aus den Anforderungen der Umwelt und unserem Umgang mit ihnen das strukturieren, was diese Umwelt als Raum oder Geruch ausmacht. Dieselben Mechanismen, die unserer Raumvorstellung zugrunde liegen, würden damit auch andere Eigenschaften unserer Umwelt strukturieren, deren Wahrnehmung wir als „useful“ erfahren. Die Folge wäre, dass die Umwelt gewissermaßen erst in dieser Kombination Existenz erlangt – eine Idee, die als „enaction“ der Umwelt noch genauer zu betrachten ist.

²³ Ebd., Hervorhebung im Original.

²⁴ Robert Schmidt. »Hippocampal Correlation Coding: Phase Precession and Temporal Patterns in CA3 and CA1«. Diss. Humboldt-Universität zu Berlin, 2010, S. 14-15.

²⁵ Ebd., S. 14.

²⁶ Ebd., S. 14-15.

9.1.3 *Embodiment und Enaction*

Überraschenderweise illustrieren O'Regan und Noë ihre Idee, Wahrnehmen hieße, die *mastery* über die sensomotorischen Kontingenzen einer Modalität aktiv auszuüben, ausgerechnet mit dem Beispiel der Flugabwehr:

Consider a missile guidance system allowing a missile to home in on an enemy airplane. As the missile zig-zags around to evade enemy fire, the image of the target airplane shifts in the missile's sights. If the missile turns left, then the image of the target shifts to the right. If the missile slows down, the size of the image of the airplane decreases in a predictable way. The missile guidance system must adequately interpret and adapt to such changes in order to track the target airplane efficiently. In other words, the missile guidance system is »tuned to« the sensorimotor contingencies that govern airplane tracking. It »knows all about« or »has mastery over« the possible input/output relationships that occur during airplane tracking.²⁷

Wie von diesem Beispiel nahegelegt, sind hier die Begrifflichkeiten Wieners insgesamt nicht weit: „Note that the notion of being tuned, or having mastery, only makes sense within the context of the behavior and purpose of the system or individual in its habitual setting.“²⁸

Neben diesen offenkundigen Verweisen auf eine Kybernetik, die hier erstaunlicherweise dem Namen nach nicht auftaucht – so endgültig scheint sie aus dem Denken der Kognitionswissenschaft getilgt zu sein –, steht diese Argumentation auch personell in ihrer Tradition. Denn die hier verteidigte Idee, Wahrnehmen sei keine passive Aufnahme, sondern aktive Erzeugung von Wahrnehmungsinhalten, sehen O'Regan und Noë explizit in der Tradition des „enactivism“ oder der „enactive perception“, wonach gilt: „experience is not something that occurs inside the animal, but is something the animal enacts as it explores the environment in which it is situated.“²⁹ Die Begriffe Enactivism, Enaction und Embodiment sind wiederum eng mit der Arbeit Francisco Varelas verknüpft. Dieser nimmt in der Kognitionswissenschaft eine besondere Position ein, weil seine Arbeit hier rezipiert wird, er aber auch in enger Beziehung zur Kybernetik steht. Er bildet eines der wenigen personellen Bindeglieder zwischen beiden Denkstilen und steht für die „continuity that flows from the original cybernetics era, through the traditions of second-order cy-

²⁷ O'Regan und Noë, »A sensorimotor account of vision and visual consciousness«, S. 943.

²⁸ Ebd.

²⁹ Ebd., S. 945.

bernetics and the biology of cognition, all the way to the enactive approach in the cognitive sciences [...]"³⁰.

Biologie der Kognition

Ursprung der „Biologie der Kognition“ ist Varelas Zusammenarbeit mit dem Biologen Humberto Maturana. Dieser hat seinerseits mit wichtigen Vertretern der frühen Kybernetik zusammengearbeitet und gemeinsam mit Wieners Weggefährten Jerome Lettvin, Warren McCulloch und Walter Pitts³¹ 1959 eine berühmte Studie veröffentlicht, deren Thema ebenfalls das Verfolgen veränderlicher Signale durch eine Art „Flugabwehrinstrument“ ist. Die Studie trägt den Titel „What the Frog’s Eye Tells the Frog’s Brain“³² und erscheint in der Reihe „Proceedings of the Institute of Radio Engineers“, was ihre Verwurzelung in der Kultur und dem Denkkollektiv von Regelungstechnik und Kybernetik explizit macht. Aus diesem Denken heraus untersucht sie die funktionale und anatomische Verknüpfung der Retina eines Frosches mit dessen Gehirn.

Dabei zeigt sich, dass in der Retina des Frosches im Wesentlichen vier Typen von Ganglienzellen existieren, die jeweils unterschiedlich geartete rezeptive Felder besitzen, und die vor allem auf völlig unterschiedliche Reize reagieren: auf lokale Kontraste, auf sich bewegende kleine und dunkle konvexe Objekte, auf die Bewegung von Kanten und auf die plötzliche Verdunklung des gesamten Sehfelds.³³ Diese Zellen, beziehungsweise der jeweils von ihnen realisierte neuronale Apparat, lassen sich also als „contrast detector“, „convexity detector“, „movement detector“ und „dimming detector“ beschreiben.³⁴ Vor allem aber stellen sie „Operationen“ dar, die einem Zweck dienen: „the purpose of a frog’s vision is to get him food and allow him to evade predators“³⁵. Sie sind Teil komplexer Handlungszusammenhänge, in denen es überlebenswichtig ist, bei einer plötzlichen Verdunklung des gesamten Sehfeldes Reißaus zu nehmen und die Zunge in Richtung der Position kleiner beweglicher Objekte zu schleudern – wobei eine Bewegung des gesamten Sehfeldes (wie bei einer Eigenbewegung des Froschs) nicht das Schleudern der Zunge zur Folge haben darf. Tatsächlich reagiert der *convexity detector* ausschließlich auf kleine, sich bewegende Objekte und scheint dabei jede Bewegung sowohl der Umwelt als auch des Froschs „herauszurechnen“:

30 Froese, »From Second-order Cybernetics to Enactive Cognitive Science: Varela’s Turn From Epistemology to Phenomenology«, S. 13.

31 Zur Rolle Lettvins, McCullochs und Pitts’ in der frühen Kybernetik vergleiche auch Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 13-14.

32 Jerome Y. Lettvin u. a. »What the frog’s eye tells the frog’s brain«. In: *The Mind: Biological Approaches to its Functions*. Hrsg. von William C. Corning und Martin Balaban. New York, NY: Interscience Publishers, 1968 [1959].

33 Ebd., 241-251 und 257.

34 Ebd., S. 251-252.

35 Ebd., S. 255.

A delightful exhibit uses a large color photograph of the natural habitat of a frog from a frog's eye view: flowers and grass. We can move this photograph through the receptive field of such a fiber, waving it around at a seven-inch distance: there is no response. If we perch with a magnet a fly-sized object 1° large on the part of the picture seen by the receptive field and move only the object, we get an excellent response. If the object is fixed to the picture in about the same place and the whole moved about, then there is none.³⁶

Was das Auge des Frosches seinem Gehirn erzählt, ist also nicht ein Abbild der Welt, wie es das Bild der Camera Obscura nahelegen würde³⁷. Vielmehr gilt „the eye speaks to the brain in a language already highly organized and interpreted, instead of transmitting some more or less accurate copy of the distribution of light on the receptors.“³⁸ Der *convexity detector* ist augenscheinlich ein „bug perceiver“³⁹.

Der sprachliche Übergang vom *detector* zum *perceiver* macht hier deutlich, dass für die Autoren die vier unterschiedlichen Operationen der visuellen Wahrnehmung des Frosches vier Wahrnehmungsqualitäten oder -modalitäten entsprechen:

The operations thus have much more the flavor of perception than of sensation, if that distinction has any meaning now.⁴⁰

Bereits hier scheint es also der Zusammenhang sensomotorischer Verknüpfungen zu sein, der den Modalitäten der Wahrnehmung zugrunde liegt. Vor allem macht der Zusammenhang von Auge und Hirn des Frosches aber klar, dass die *bug perception* nicht in der internen Repräsentation einer mentalen Karte stattfindet. Unter Berufung auf ein Experiment von Sperry werden Maturana und Varela dementsprechend die Rolle des *bug perceiver* als sensomotorischer Apparat diskutieren, der ohne jeglichen Verweis auf die Räumlichkeit einer Umwelt zu funktionieren scheint.

Sperry hatte bereits 1945 publiziert, dass eine Operation bei Fröschen, bei der die Augen diesmal miteinander vertauscht werden, dazu führt, dass die Frösche erstens nicht länger vor sich nähernden großen Gegenständen davonspringen, sondern darauf zu, und dass sie zweitens immer dann, wenn ihnen eine Fliege (an einem Faden) präsentiert wird, die Zunge in die falsche Richtung schleudern.⁴¹ Wie

36 Lettvin u. a., »What the frog's eye tells the frog's brain«, S. 243.

37 Ebd., S. 256.

38 Ebd., S. 254.

39 Ebd., S. 258.

40 Ebd., S. 257-258.

41 Roger W. Sperry. »Restoration of vision after crossing of optic nerves and after contralateral transplantation of eye«. In: *Journal of Neurophysiology* 8 (1945), S. 57-69, S. 18.

in Bezug auf die *mastery* über die (In-)Varianzen sensomotorischer Kontingenzen halten Maturana und Varela fest:

Dieses Experiment zeigt auf dramatische Weise, daß es für das Tier kein Oben und Unten, Vorn und Hinten in bezug auf eine Außenwelt gibt, wie sie für den Beobachter existiert. Vielmehr liegt eine *interne Korrelation* vor zwischen der Stelle, an der die Netzhaut einer bestimmten Perturbation ausgesetzt ist, und den Muskelkontraktionen, die Zunge, Mund, Hals und schließlich den ganzen Körper des Frosches bewegen. [...] Beim Nervensystem des Frosches löst dies eine sensomotorische Korrelation zwischen der Lage der Netzhaut und der Bewegung der Zunge aus und eben keine Berechnung in bezug auf eine Landkarte der Welt, wie dies einem Beobachter sinnvoll erscheinen könnte.⁴²

Die Wahrnehmung der Fliege durch den Frosch ist von seiner auf die Fliege gerichteten Reaktion nicht unterscheidbar. *Bug perception* erweist sich so als eine genetisch vorprogrammierte *mastery* des Zusammenhangs von Netzhautreizung und Muskelkontraktion.

Als genetisch bedingter Zusammenhang versagt die *mastery* nach der Transplantation der Augen. Hier manifestiert sich ein kybernetisches System zur Verfolgung veränderlicher Signale, dessen Soll unveränderlich und (evolutionär) von außen determiniert ist. *Bug perception* bildet zwar ein „Regelsystem im Sinne der Techniker“⁴³, das sich, wie der „Lagereflex“ bei Fischen, dynamisch auf das Ist der Bewegung und Position einer Fliege relativ zum Frosch einstellt. Es liefert diese Reaktion aber wie die „built-in laws of motion“⁴⁴ und kann mit einer grundsätzlichen Veränderung der Bedeutung einer Stimulation nicht umgehen.

Damit stellt der hier untersuchte Zusammenhang von Auge und Hirn des Frosches zwar die Existenz mentaler Repräsentationen in Frage⁴⁵, er bleibt ansonsten aber mit dem Denken einer Kognitionswissenschaft kompatibel, nach dem Bedeutung vorausgesetzt werden muss, um vorhanden zu sein – und in dem gerne die Evolution in die Rolle gedrängt wird, das *grounding* jeglicher Bedeutung liefern zu müssen:

In a more traditional cognitive modeling framework, this idea translates to values being »built-in« by evoluti-

42 Humberto R. Maturana und Francisco J. Varela. *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. München: Goldmann, 1987 [1984], S. 138-139, Hervorhebung im Original.

43 von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 468, Hervorhebungen im Original.

44 Ramachandran und Anstis, »The perception of apparent motion«, S. 109.

45 Vergleiche hierzu Maturana und Varela, *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*, S. 145-150.

on – phylogenetically invariant yardsticks against which actual lifetime encounters are measured and structured, and from which cognitive mechanisms that are themselves independent of these values deduce the meaning of situations, actions, and perceptions.⁴⁶

In der Biologie der Kognition nach Maturana und Varela verbinden sich dagegen Erkenntnisse wie über den sensomotorischen Zusammenhang der *perception*, mit der Erkenntnis, dass solche Zusammenhänge generell von einem Soll bestimmt werden, das ausschließlich im Überleben des Organismus besteht. „Autopoiese“⁴⁷ bezeichnet hier die permanente Selbsterhaltung und Selbsterzeugung lebender Systeme, in deren Dienst auch Retina, Hirn und Muskeln des Frosches stehen. Anders aber als in diesem Fall eines hochspezialisierten Reflexes, befinden sich Lebewesen im Allgemeinen seit dem Beginn ihrer Existenz als einzelne Zelle in einem „andauernden Strukturwandel“⁴⁸. Damit unterliegen auch die Regelsysteme, die ihr Verhalten bestimmen mögen, permanenter Veränderung, die in „struktureller Kopplung“⁴⁹ mit ihrer Umwelt stattfindet: In dieser Kopplung gleichen Lebewesen die Störungen („Perturbationen“⁵⁰) durch die Umwelt aus, indem sie ihre eigene Struktur verändern. „Der funktionierende Organismus [...] selektiert diejenigen Strukturveränderungen, die ihm weiteres Operieren ermöglichen, oder er löst sich auf.“⁵¹ Was wie ein Prozess der Anpassung oder des Lernens erscheint, ist ein Prozess kontinuierlicher Veränderung im Dienste des weiteren Existierens, der sich ausschließlich auf die Zusammenhänge zwischen Störung und Strukturveränderung berufen kann.

Wahrscheinlich ist es kein Zufall, dass Maturana und Varela diese zirkuläre Abhängigkeit mit fast genau dem Beispiel illustrieren, das etwa zwanzig Jahre später O'Regan und Noë zur Einführung der Idee sensomotorischer Kontingenzen dienen wird:

Stellen wir uns jemanden vor, der sein ganzes Leben in einem Unterseeboot verbracht hat. [...] Für den Fahrer im Inneren des Unterseeboots gibt es nur die Anzeigen der Instrumente, ihre Übergänge und die Art, wie zwischen ihnen bestimmte Relationen hergestellt werden können.

46 Ezequiel A. Di Paolo, Marieke Rohde und Hanne De Jaegher. »Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play«. In: *Enaction: Towards a New Paradigm for Cognitive Science*. Hrsg. von John Robert Stewart, Olivier Gapenne und Ezequiel A. Di Paolo. Cambridge, MA: MIT Press, 2010, S. 33–88, S. 45–46.

47 Maturana und Varela, *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*, S. 50.

48 Ebd., S. 140.

49 Ebd., S. 85.

50 Ebd.

51 Ebd., S. 186–187. Eine Selektion, die die Frösche bei Sperry bis zu ihrem „Auflösen“ nicht zu leisten vermocht haben Sperry, »Restoration of vision after crossing of optic nerves and after contralateral transplantation of eye«, S. 19.

Nur für uns draußen, die wir sehen, wie sich die Relationen zwischen dem Unterseeboot und seiner Umgebung verändern, gibt es das »Verhalten« des Unterseeboots, ein Verhalten, das je nach seinen Konsequenzen mehr oder weniger angemessen erscheint.⁵²

Und während das „Verhalten“ des Boots einem Beobachter so erscheinen mag, als habe der Fahrer erfolgreich Riffe umschifft um anschließend aufzutauchen, kann der Fahrer behaupten:

Was heißt denn »Riffe« und »Auftauchen«? Alles was ich getan habe, war, Hebel zu betätigen und Knöpfe zu drehen und bestimmte Relationen zwischen den Anzeigen der Geräte beim Betätigen der Hebel und Knöpfe herzustellen [...]⁵³

Was hier als Reaktion des Fahrers auf eine Umwelt erscheint, ist ein Herstellen und Aufrechterhalten von Relationen, das kein Außen kennt und für das seit der frühen Kybernetik gilt: „das einzige, was er »weiß«, sind die Wahrnehmungswechsel, die er teilweise durch seine eigenen motorischen Aktivitäten kontrollieren kann.“⁵⁴

Weil Autopoiese auf die permanente Veränderung genau der Struktur hinausläuft, die bestimmt, wie auf weitere Perturbationen (mit erneuten Veränderungen) reagiert werden wird, zeigen Lebewesen trotz der zirkulären Abhängigkeit von ihrer Umwelt autonome *agency*.⁵⁵ Daher gilt:

Wenn deshalb eine Zelle mit einem Molekül X interagiert und es in ihre Prozesse einbezieht, ist die Konsequenz dieser Interaktion nicht durch die Eigenschaften des Moleküls determiniert, sondern durch die Art, wie dieses Molekül von der Zelle bei dessen Einbeziehen in die autopoietische Dynamik »gesehen« beziehungsweise genommen wird. Die Veränderungen, die in der Zelle als Konsequenz dieser Interaktion entstehen, werden von ihrer eigenen Struktur als zelluläre Einheit bestimmt.⁵⁶

Mit anderen Worten:

Living organisms are autonomous – they follow laws set up by their own activity.⁵⁷

52 Maturana und Varela, *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*, S. 149-150.

53 Ebd., S. 149.

54 von Foerster, *KybernEthik*, S. 100.

55 Vergleiche Maturana und Varela, *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*, S. 55-60.

56 Ebd., S. 60.

57 Di Paolo, Rohde und Jaegher, »Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play«, S. 37.

Enaction

Varela wird die Ideen einer Biologie der Kognition in den Folgejahren weiterentwickeln und zusammen mit Evan Thompson und Eleanor Rosch 1991 mit dem Buch „*The Embodied Mind*“⁵⁸ schließlich die Begriffe Enactivism oder Enaction und Embodiment einführen.⁵⁹ Unter Rückgriff auf Positionen der westlichen, aber auch der fernöstlichen Philosophie und naturwissenschaftliche Ergebnisse der Komplexitätstheorie, sowie Experimental- und Neuropsychologie, verfolgt das Buch die Konstruktion einer Gegenposition zum Kognitivismus, die eindeutig in der Tradition kybernetischen Denkens steht⁶⁰.

Bei der zentralen Herleitung der Begriffe Enaction und Embodiment verweisen die Autoren dabei ausführlich auf eine Argumentation, die der Philosoph Maurice Merleau-Ponty bereits 1942 in seinem Buch „*Die Struktur des Verhaltens*“ formuliert. Hier heißt es zunächst, wie in Anlehnung an einerseits das Problem der undifferenzierten Kodierung, und andererseits Wertheimers Argument vom Gesamtzusammenhang, der das Verhalten seiner Teile determiniert:

Der Organismus lässt sich eben nicht vergleichen mit einer Klaviatur, auf der äußere Reize spielen und ihre eigentümliche Gestalt abzeichnen, aus dem einfachen Grunde, weil er selbst dazu beiträgt, die Gestalt zu bilden.⁶¹

Die Erläuterung dieses Arguments nimmt ihren Ausgang wieder in der Aufgabe, ein veränderliches Signal zu verfolgen:

Wenn Auge und Ohr ein flüchtiges Tier verfolgen, so lässt sich bei dem Austausch von Reizen und Reaktionen unmöglich sagen, »wer angefangen hat«. Da alle Bewegungen des Organismus stets durch äußere Einflüsse bedingt sind, kann man durchaus, wenn man so will, das Verhalten als eine Wirkung der Umwelt behandeln. Doch da alle Reize, die der Organismus aufnimmt, ihrerseits erst ermöglicht wurden, durch die vorausgehenden Bewegungen, die schließlich das Rezeptionsorgan den äußeren Einflüssen aussetzten, könnte man gerade so gut sagen, das Verhalten sei Primärursache aller Reize. So wird die Reizgestalt durch den Organismus selbst geschaffen, durch

58 Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*.

59 Vergleiche hierzu auch Froese, »From Second-order Cybernetics to Enactive Cognitive Science: Varela's Turn From Epistemology to Phenomenology«. Eine aktuelle Einführung liefern Di Paolo, Rohde und Jaegher, »Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play«.

60 Vergleiche hierzu auch die Bemerkungen zu „circular causation“ in Schumann, »Embodied Cognitive Science: Is it Part of Cognitive Science? Analysis within a Philosophy of Science Background«, S. 31.

61 Maurice Merleau-Ponty. *Die Struktur des Verhaltens*. Berlin und New York: de Gruyter, 1976 [1942], S. 13.

seine eigentümliche Art und Weise, sich den äußeren Einwirkungen auszusetzen. Zweifellos muß er, um überhaupt bestehen zu können, um sich herum eine bestimmte Anzahl physikalischer und chemischer Agenzien antreffen. Doch er ist es, der entsprechend der eigentümlichen Natur seiner Rezeptoren, den Schwellen seiner Nervenzentren und den Bewegungen der Organe aus der physischen Welt die Reize auswählt, für die er empfänglich ist. [...] Es wäre das eine Klaviatur, die sich selbst bewegt, und zwar so, daß sie – nach wechselnden Rhythmen – diese oder jene ihrer Noten der Einwirkung eines äußeren Hammers aussetzt, die in sich selbst monoton ist.⁶²

Die Rede vom „Austausch von Reizen und Reaktionen“ und der Unmöglichkeit zu entscheiden, „wer angefangen hat“, liest sich hierbei genau deshalb wie eine unmittelbare Entgegnung auf die Kritik an einer „interaktiven Medienkunst“⁶³, weil sie den zirkulären Zusammenhang von Reizen und Reaktionen ernst nimmt und dabei die Schlussfolgerungen von Maturana und Varela zu Autonomie und Autopoiese vorwegnimmt, nach der die Wirkung eines Moleküls davon determiniert wird, wie es von einer Zelle gesehen oder genommen wird.

Und während Merleau-Ponty anschließend die sensomotorische Erzeugung der Reizgestalt erläutert, die wir oben bei Poincaré⁶⁴ oder Mach und schließlich bei O'Regan und Noë kennengelernt haben, formuliert er zugleich die Kernargumente von Enactivism und Embodiment bis heute. Denn wenn einerseits gilt, dass die „eigentümliche Natur“ eines Organismus dessen Verhalten bestimmt, dann folgt daraus direkt das Argument der Verkörperung, nach dem gilt:

Embodiment is the premise that the particular bodies we have influence how we think.⁶⁵

Und wenn andererseits der Organismus als Klaviatur erscheint, die sich selbst bewegt und damit die Reizgestalt erst schafft, ist dies mit einer Enaction der Umwelt durch den Organismus identisch:

Enaction is the idea that organisms create their own experience through their actions.⁶⁶

⁶² Ebd., S. 14.

⁶³ Vergleiche 6.1.3.

⁶⁴ Dessen oben besprochene „theory of the active role of movement in the construction of spatial perception“ auch zu den Vorläufern eines Enactivism gezählt wird. Di Paolo, Rohde und Jaegher, »Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play«, S. 36.

⁶⁵ Edwin Hutchins. »Enaction, Imagination, and Insight«. In: *Enaction: Towards a New Paradigm for Cognitive Science*. Hrsg. von John Robert Stewart, Olivier Gapenne und Ezequiel A. Di Paolo. Cambridge, MA: MIT Press, 2010, S. 425–450, S. 428.

⁶⁶ Ebd.

Denn einerseits ist es die reziproke sensomotorische Kopplung, die bereits „die elementarsten Modelle eines Signalfusses in einem kybernetischen System“⁶⁷ bestimmt, die einen Ausweg aus der Falle konditionierender Determination durch die Umwelt weist (oder, wie im Folgenden der wenig überraschende Verweis auf „game“ zeigt: Computerspiele) :

Autonomous agency goes even further than the recognition of ongoing sensorimotor couplings as dynamical and emphasizes the role of the agent in constructing, organizing, maintaining, and regulating those closed sensorimotor loops. In doing so, the cognitive agent plays a role in determining the norms that it will follow, the »game« that is being played.⁶⁸

Andererseits impliziert diese Idee der Autonomie, dass sich die Welt auf die (scheinbar) reagiert wird, in Abhängigkeit von genau der Struktur entfaltet, die sie mitbestimmt. Das Wechselspiel von selbstbewegender Klaviatur und Hammer, von Autonomie und Determination, ist Grundlage unseres Erlebens der Welt:

Cognitive systems [...] not only respond to external perturbations in the traditional sense of producing the appropriate action for a given situation, they do in fact actively and asymmetrically regulate the conditions of their exchange with the environment, and in doing so, enact a world or cognitive domain.⁶⁹

Wenn der Kognitivismus unter Verweis auf das Mentale die Frage ausgeblendet hat, wie sich Bedeutung in der physischen Welt verankern lässt – der Frage nach dem „grounding of notions such as values and meaning“⁷⁰ – bleibt die Antwort des Enactivism nicht bei dem Verweis auf ein evolutionär erworbenes Wissen über die Welt stehen. Hier wird vielmehr das, was ein Organismus in einer Umwelt erlebt, als Folge seiner Kopplung mit dieser Umwelt konstruiert. Die Bedeutung (etwa von Helligkeitsveränderungen auf der Retina) ergibt sich als Invarianz aus dem Dialog von Organismus und Umwelt unter der Prämisse des Selbsterhalts – und kann in keinem von beiden lokalisiert werden:

For the enactivist, sense is not an invariant present in the environment that must be retrieved by direct (or indirect) means. Invariants are instead the outcome of the

⁶⁷ von Foerster, *Kybernetik*, S. 99.

⁶⁸ Di Paolo, Rohde und Jaegher, »Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play«, S. 39.

⁶⁹ Ebd., S. 34.

⁷⁰ Ebd.

dialog between the active principle of organisms in action and the dynamics of the environment. The »finding« of meaning must be enacted in a concrete and specific reduction of the dimensions that the organism-environment system affords along the axis of relevance for autonomy; it is always an activity with a formative trace, never merely about the innocent extraction of information as if this was already present to a fully realized (and thus inert) agent.⁷¹

„Be-Deutung“, schreibt von Foerster ganz in diesem Sinne, „hat nur, was ich be-greifen kann.“⁷²

Von Anfang an machen Varela, Thompson und Rosch dabei klar, dass Verkörperung nicht nur den Körper, sondern das gesamte „organism-environment system“ betrifft:

Let us explain what we mean by the phrase *embodied action*. By using the term *embodied* we mean to highlight two points: first, that cognition depends upon the kinds of experience that come from having a body with various sensorimotor capacities, and second, that these individual sensorimotor capacities are themselves embedded in a more encompassing biological, psychological and cultural context. By using the term *action* we mean to emphasize once again that sensory and motor processes, perception and action, are fundamentally inseparable in lived cognition. [...] ⁷³

Embodiment bezeichnet also nicht nur die Materialität des Körpers und seiner Umgebung, sondern auch deren immer schon sozio-kulturelle Verfasstheit. Und auch der Begriff der Enaction bezieht sich von Anfang an nicht ausschließlich auf das Entstehen sensorischer Modalitäten aus körperlicher Aktivität – wie es uns in zahlreichen Variationen, angefangen beim *capture* der Wahrnehmung durch die Effferenzkopie einer Handlung, begegnet ist:

We can now give a preliminary formulation of what we mean by *enaction*. In a nutshell, the enactive approach consists of two points: (1) perception consists in perceptually guided action and (2) cognitive structures emerge from the recurrent sensorimotor patterns that enable action to be perceptually guided.⁷⁴

„[To] enact a world or cognitive domain“ heißt also auch, dass „kognitive Strukturen“ aus sensomotorischen Mustern entstehen, die auf

⁷¹ Ebd., S. 39.

⁷² von Foerster, »Kybernetik einer Erkenntnistheorie«, S. 53.

⁷³ Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, S. 172-173, Hervorhebungen im Original.

⁷⁴ Ebd., S. 173, Hervorhebung im Original.

Wiederholung basieren. Diese Idee haben wir bereits bei O'Regan und Noë angedeutet gesehen, wenn sie das Entstehen der Form der Dinge aus den (In-)Varianzen der Veränderung der Wahrnehmung beim Handeln mit diesen Dingen beschreiben. Im Enactivism seit Varela, Thompson und Rosch bezieht sich die Idee direkt auf die Arbeit Piagets⁷⁵, die hier bereits im Zusammenhang mit der Frage nach dem Verhältnis von Freiheit und Fremdbestimmung beim (Computer-)Spielen und Interagieren aufgetaucht ist. Vor einem erneuten Blick auf die Arbeit Piagets und ihre kybernetische Interpretation soll zunächst aber eine Auseinandersetzung mit dem Denken außerhalb des Kopfes und eine Studie zu den Gegenständen der Interaktion den Zusammenhang rekurrenter sensomotorischer Muster und kognitiver Strukturen verdeutlichen.

9.2 VERTEILTE KOGNITION UND INTERACTION GESTALTS

9.2.1 *What makes a fix a fix?*

Embodiment postuliert die Verkörperung von Kognition als eine immer auch sozio-kulturelle Verkörperung. Und obwohl diese Idee dem kognitivistischen Modell widersprechen mag, nach dem Denken das regelhafte Operieren auf internen Repräsentationen einer externen Wirklichkeit ist, wird sie innerhalb des kognitionswissenschaftlichen Paradigmas doch frühzeitig vorbereitet. Es ist Edwin Hutchins, der bereits hinter dem oben besprochenen *cognitive account* direkter Manipulation steht⁷⁶, der ab 1995 einflussreiche Studien zur Kognition außerhalb des Kopfes veröffentlicht und damit das Feld der „verteilten Kognition“ begründet.

Auch verteilte Kognition bleibt zunächst allerdings in erster Linie Kognition: Hutchins kanonisch gewordene Studie „How a Cockpit Remembers its Speeds“⁷⁷ zeigt zwar ausführlich, dass sich das Wissen über die momentane Geschwindigkeit eines Flugzeugs – und vor allem die Mechanismen, die dieses Wissen in der Praxis des Fliegens wirksam werden lassen – zu großen Teilen nicht im Lang- oder Kurzzeitgedächtnis des Flugpersonals befindet, sondern über das gesamte Cockpit verteilt ist⁷⁸. Die Studie bleibt dabei aber dem kognitivistischen Denken treu. Sie zeigt, so Hutchins, „that the classical cogniti-

75 Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, S. 176.

76 Vergleiche 5.4.1.

77 Edwin Hutchins. »How a Cockpit Remembers Its Speeds«. In: *Cognitive Science* 19 (1995), S. 265–288.

78 Eine Prämisse, in der Wieners Überzeugung wiederzuhallen scheint, dass das Verhalten eines Flugzeugs nur als Kombination menschlicher Handlungen, dem Training des Flugpersonals, den *control surfaces* des Cockpits und der Flugphysik zu verstehen ist. Vergleiche Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, S. 5.

ve science approach can be applied *with little modification* to a unit of analysis that is larger than an individual person.“⁷⁹

Die Modifikation ist tatsächlich minimal. Das kognitive System wird auf das gesamte Cockpit erweitert, indem zum Beispiel gedruckte Handbücher die Rolle des Langzeitgedächtnisses übernehmen, während die sprachlichen Äußerungen des Flugpersonals den *loop* permanenten Abrufs und anschließender Erneuerung bilden, der nach dem Standardmodell dem Kurzzeitgedächtnis⁸⁰ zu Grunde liegt.⁸¹ Fliegen wird so zum *problem* eines „soziotechnischen Systems“⁸², das sich nicht ausschließlich im Kopf eines Menschen befindet, sondern auch teilweise in dessen Umgebung. Es bleibt aber das *Physical Symbol System* Newell und Simons und Hutchins hält zu dieser Zeit an anderer Stelle fest: „I want to preserve a concept of cognition as computation“⁸³.

Erst unter dem Eindruck von Enactivism und Embodiment wird Hutchins diese Ansicht grundlegend revidieren. 2010 veröffentlicht er eine Revision seiner früheren Arbeit, in der er eine seiner bekannten Studien zur verteilten Kognition neu interpretiert. Die Studie beschäftigt sich mit der Bestimmung der Geschwindigkeit in der Seenavigation⁸⁴ und unter anderem mit der Drei-Minuten-Regel, die den mit einem Zirkel abgegriffenen räumlichen Abstand von zwei im zeitlichen Abstand von drei Minuten erfolgten Positionsbestimmungen über eine Skala in eine Bestimmung der Geschwindigkeit überführt.⁸⁵ Hatte Hutchins diesen Vorgang 1995 noch als körperlosen Rechengang beschrieben, der sich lediglich externer Symbole bedient⁸⁶, so fragt er jetzt nach der Rolle des Körpers in diesem Prozess⁸⁷, denn „an embodied analysis of the three-minute-rule creates explanatory possibilities that simply have no place in the disembodied analysis presented earlier.“⁸⁸

Aus dem Blickwinkel verteilter Kognition, so der zentrale Vorwurf an sich selbst, ist der Prozess des situierten Problemlösens zwar eine Funktion von Subjekt und Umgebung – und damit von sowohl internen als auch externen Repräsentationen –, der Status der Repräsentationen als solche wird aber blind vorausgesetzt. Die Drei-Minuten-Regel basiert auf Positionsbestimmungen, die erzeugt werden, indem zwei mal drei Peilungen vom Schiff zu Orientierungspunkten an Land erstellt werden. Auf eine Karte gezeichnet, bilden sie jeweils ein Dreieck, dessen Zentrum der ungefähren Position des Schiffes

79 Hutchins, »How a Cockpit Remembers Its Speeds«, S. 266, Hervorhebung von mir.

80 Vergleiche 5.3.2.

81 Hutchins, »How a Cockpit Remembers Its Speeds«, S. 276-277.

82 Ebd., S. 266.

83 Edwin Hutchins. *Cognition in the Wild*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995, S. 118.

84 Ebd., S. 117-174.

85 Hutchins, »Enaction, Imagination, and Insight«, S. 426-427.

86 Ebd., Anmerkung 5.

87 Ebd., S. 427.

88 Ebd., S. 492.

entspricht und an dessen Größe sich die Präzision dieser Positionsbestimmung ablesen lässt – je kleiner desto präziser.⁸⁹ Aber was sind diese Dreiecke?

What makes one fix triangle the »previous fix« and the other one the »next fix«? Or, even more basically, what makes a particular set of lines on the chart a fix triangle? The answer to these questions brings us to some fundamental issues concerning interactions with cultural worlds. Many people seem to assume that the status of external representations qua representations is unproblematic. But what makes a material pattern into a representation, and further, what makes it into the particular representation it is?⁹⁰

Hutchins trifft hier in der Revision seiner bisherigen Forschung überraschenderweise auf die Frage, von welcher Welt hier die Rede ist. Seine Antwort:

The answer in both cases is enactment. To apprehend a material pattern as a representation of something is to engage in specific culturally shaped perceptual processes.⁹¹

Und dieser Prozess ist inhärent körperlich. Erst unter Berücksichtigung der verkörperten Navigationspraxis erschließt sich die Rolle der Linien, die Resultat von Peilungen sind, und als Dreieck oder „fix“ auf der Karte die Voraussetzung der Bestimmung der eigenen Geschwindigkeit bilden.

Anhand seiner Beobachtungen zeigt Hutchins im Anschluss, wie sich ein „Aha-Erlebnis“⁹², das er bei der Lösung eines Navigationsproblems beobachtet, aus der verkörperten Navigationspraxis erklären lässt. Die Crew, die er beobachtet, erkennt einen Fehler in ihrer Positionsbestimmung – und die deswegen nötige Korrektur – offensichtlich im Prozess der wiederholten Ausführung dieser Positionsbestimmungen. Hutchins frühere kognitivistische Erklärung dieses Ereignisses⁹³ ist nicht in der Lage, die Entdeckung des Fehlers zu erkennen – weil sie die verkörperte, wiederholte Ausführung des Prozesses ignoriert: „I provide a disembodied analysis of this event that fails to explain how the discovery of the missing term was made.“⁹⁴ Erst der erneute detaillierte Blick auf Körper und Bewegung macht deutlich, dass das Aha-Erlebnis auf deren Zusammenspiel zu beruhen scheint. Der Fehler offenbart sich, weil die körperliche Bewegung

89 Hutchins, »Enaction, Imagination, and Insight«, S. 435.

90 Ebd., S. 429.

91 Ebd., S. 429-430.

92 Ebd., S. 435.

93 Zu finden in Hutchins, *Cognition in the Wild*, S. 117-174.

94 Hutchins, »Enaction, Imagination, and Insight«, S. 427.

(mit geometrischen Instrumenten auf der Karte) wiederholt nicht zu den erwarteten sensorischen Resultaten (in Form der sichtbaren Rotation der Instrumente auf der Karte) führt: „memory for trying out a rotation of the hoey arm on the chart combines with seeing the hoey arm on the scale in a way that anticipates rotating the hoey arm on the scale.“⁹⁵ Es ist das Verhältnis von „anticipated and current experience“⁹⁶, von Efferenzkopie und Reafferenz, die sich hier in dem „Aha!“ äußert, mit dem ein Fehler plötzlich als Ding oder Tatsache hervortritt, wahrnehmbar und korrigierbar wird.

Eine solche Argumentation ist im klassisch kognitivistischen Denkstil nicht zu führen. Hutchins hält überrascht fest: „The traditional »action-neutral« descriptions of mental representations seem almost comically impoverished alongside the richness of the moment-by-moment engagement of an experienced body with a culturally constituted world.“⁹⁷ Das Denken findet weniger im Operieren auf (in- oder externen) Repräsentationen statt, als im Handeln: „reasoning processes playing out in the actions of the hands may hold content that can lead to insights.“⁹⁸ Konzepte und Symbole, ob innerhalb oder außerhalb des Kopfes, sind Resultat verkörperter Praxis – die ganz im Sinne der Argumentation von Varela, Thompson und Rosch eine inhärent kulturelle Praxis ist:

The enaction perspective reminds us that perception is something we do, not something that happens to us. And this is never truer than when a person perceives some aspect of the physical world to be a symbol or a representation of any kind. But as long as perception was conceived as something that happened to us, it was possible to ignore the activity in the world that makes the construction of meaning possible. And although the enaction of cultural meanings is something that our bodies and brains *do* in the world, it is not something that our bodies or brains do by themselves. The skills that enact the apprehension of patterns as representations are learned cultural skills. High-level cognitive processes result when culturally orchestrated low-level processes are applied to culturally organized worlds of action.⁹⁹

9.2.2 *What makes a switch a switch?*

Hutchins Überlegungen zu Repräsentation, Kultur und verkörperter Handlung gelten natürlich auch für die Interaktion mit Computern.

⁹⁵ Ebd., S. 443.

⁹⁶ Ebd., S. 442.

⁹⁷ Ebd., S. 445.

⁹⁸ Ebd., S. 443.

⁹⁹ Ebd., S. 446, Hervorhebung im Original.

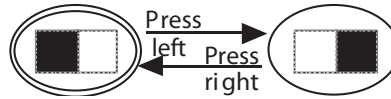


Abbildung 47: Beispiel für ein *State-Transition Diagram* (aus Dag Svanæs. »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.« Diss. Trondheim, Norway: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), 2000, S. 131).

Action Capture ist wie gesehen ein Inter-Action Capture und Ausdruck der Tatsache, dass das eigene Handeln auch an Schnittstellen immer im Spannungsfeld von ausgeführter Handlung und erwartetem Resultat wahrgenommen wird. Eine der wegweisenden empirischen Studien, die im Einklang mit dieser Idee unser Handeln und Wahrnehmen bei der Interaktion nicht einer „disembodied analysis“ unterziehen, findet sich in Svanæs »Understanding Interactivity“¹⁰⁰.

In der Tradition der qualitativen Forschung, etwa der Gestaltpsychologie, konfrontiert Svanæs eine Reihe von Versuchspersonen mit einfachen interaktiven Systemen. Diese Systeme entstammen einer „Square World“, bestehend aus den denkbar einfachsten Beispielen für interaktives Verhalten überhaupt: aus monochrom schwarzen oder weißen Flächen auf einem Bildschirm, deren Farbe sich abhängig von der Aktivität an einem Eingabegerät ändert.¹⁰¹ Dieses Verhalten hängt ausschließlich von der Position des Mauszeigers ab, sowie davon, ob eine Maustaste gedrückt oder nach dem Drücken losgelassen wurde. Das Verhalten von Ensembles dieser Quadrate beschreibt Svanæs als endliche Automaten, die sich mit Hilfe von „state-transition diagrams“ visualisieren lassen.

Seine Versuchspersonen setzt er nun verschiedener solcher Ensembles aus, mit der Aufgabe, diese durch Interaktion zu erschließen und dabei darüber zu sprechen. Die resultierenden Laut-Denken-Protokolle setzt er schließlich mit Aufnahmen der Tastendrucke und Zustandsübergänge der Beispiele in Beziehung.

Zunächst aber liefert er detaillierte Beschreibungen der Erkundung dreier Beispiele, darunter auch das Beispiel einer einfachen interaktiven scheinbaren Bewegung (Abbildung 48):

This example consisted of two squares, the left initially black and the right initially white. When you pressed the mouse button on a black square, the colors swapped and it appeared as if the black square was moving.¹⁰²

¹⁰⁰ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«

¹⁰¹ Vergleiche hierzu ebd., S. 128-132, sowie ebd., S. 108-110.

¹⁰² Ebd., S. 137.

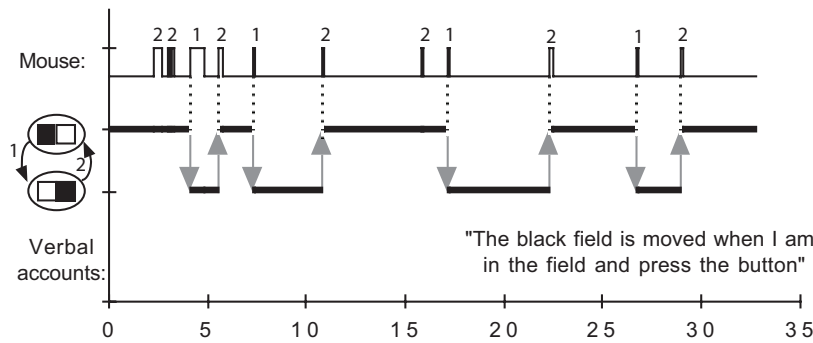


Abbildung 48: Protokoll einer Interaktionssequenz (aus Dag Svanæs. »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.« Diss. Trondheim, Norway: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), 2000, S. 137).

Die Erkundung dieses Beispiels dauert wenige Sekunden:

We see that the subject first clicked on the white square three times. Nothing happened and he went on to click on the left square. He held the mouse button down for approx. 1 sec. (at $t \approx 5$). This can be seen as way of testing if there was a difference between »press« and »release«. This click lead to a swapping of colors. In response, he immediately moved the mouse to the right square, which had now become black, and clicked on this one. He then continued moving the black square around by clicking on it. Only once (at $t \approx 16$) did he again try clicking on a white square.

From the log, it seems as if the example was »understood« already the first time he observed the response to clicking on a black square (at $t \approx 5$). The subsequent interactions can be seen as an attempt to verify his immediate hypothesis concerning its behavior.¹⁰³

Das Beispiel ist also bereits nach fünf Sekunden „verstanden“. Seine abschließende Beschreibung durch die Versuchsperson lautet: „The black field is moved when I am in the field and press the button“.¹⁰⁴ Was hier deutlich wird, gilt für alle Versuchspersonen und Beispiele: Der „locus of agency“¹⁰⁵ ist eindeutig nicht die Maus auf dem Tisch, sondern befindet sich auf dem Computerbildschirm. Die Versuchspersonen sind mit der Benutzung der Maus vertraut¹⁰⁶ und schreiben nicht nur ihren eigenen Handlungen kausale Wirksamkeit auf dem Bildschirm zu, sie verorten auch sich selbst dort. „[W]hen I

¹⁰³ Ebd.

¹⁰⁴ Ebd.

¹⁰⁵ Ebd., S. 144.

¹⁰⁶ Ebd., S. 203.

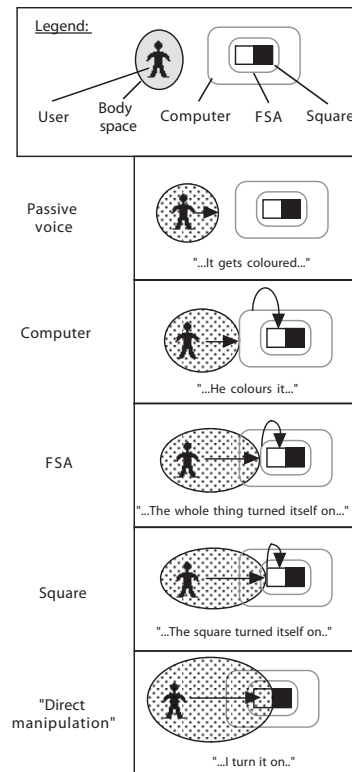


Abbildung 49: Verschiedene „loci of agency“ (aus Dag Svanæs. »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.« Diss. Trondheim, Norway: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), 2000, S. 159).

am in the field and press the button“ umschreibt dabei sehr genau die Relokalisierung, die der Simon-Effekt¹⁰⁷ so deutlich macht: Während hier der „Button“ offensichtlich nicht das „field“ auf dem Bildschirm bezeichnet, sondern die Maustaste, findet die Bewegung der Maus doch auf dem Bildschirm („in the field“) statt. Der Ort körperlicher Aktivität wird so sehr mit dem Ort ihrer Konsequenzen assoziiert, dass beide ununterscheidbar werden.

Dabei ist der Ort des Handelns aber in Bewegung. Die *agency* kann sich auf höhere Mächte („It gets coloured“), den Computer („He colours it“), den Formalismus des Beispiels („The whole thing turned itself on“), ein einzelnes Quadrat („The square turned itself on“) oder die Versuchsperson beziehen („I turn it on“) und sie wechselt zwischen diesen Stationen (Abbildung 49).¹⁰⁸

Svanæs interpretiert diese verschiedenen Stadien der Verortung von Handlungsmacht im Sinne der Terminologie Merleau-Pontys:

¹⁰⁷ Vergleiche 7.1.5.

¹⁰⁸ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 159.

Figure 63 [hier: 49] illustrates the body space for the different cases. In the two first cases the body space is not in direct contact with the example or its squares. The user moves the cursor on the screen, but this is the only extension of the body space that has been established. When the agency is put in the example or its squares, this can be seen as if the body space extends until it touches upon these. When in the last stage the interaction is described as direct manipulation, the objects on the screen are integrated into the body space of the user. The body has understood the example.¹⁰⁹

Auch ohne auf Merleau-Pontys Konzept des Körperraums genauer einzugehen, wird hier deutlich, wie Svanæs das Verstehen des Beispiels als ein Verschieben der Grenze zwischen Subjekt (Körper) und Objekt versteht: „As the experiments went on, the subjects moved deeper into the world. At the same time, the experienced locus of agency moved from being by the computer as a whole to being by the squares.“¹¹⁰ Menschliche Aktion und berechnete Reaktion werden dabei Teil eines so eng verzahnten Spiels, dass sie ineinander übergehen und die Handlungen an der Maus zu Handlungen in der *Square World* werden. So erklärt sich, wie der „hand offset“¹¹¹ der Maus, der Licklider so verwundert hatte, im Gebrauch des Paares aus Maus und Zeiger verschwinden kann, und die Handlung von der Hand in den Bildschirm zu wandern scheint. Von welcher Welt dabei die Rede ist, was also dabei zu sehen ist und sich als (symbolisches) Zeichen auf dem Bildschirm zeigt – dieses, mit Wertheimer gesprochen, eindringlich gegebene Spezifische¹¹² – wird sich dabei als Folge dieser Wanderung erweisen. Es wundert daher nicht, dass sich Svanæs in der weiteren Diskussion auf den Gestaltbegriff beruft.

Bevor Svanæs das „Verstehen“ der Beispiele im Sinne eines Einverlebens definiert, setzt er den Begriff bewusst in Anführungsstriche. Denn er ist eben nicht auf ein kognitiv-rationales Verstehen aus, das dem Wahrnehmen nachgelagert wäre, sondern auf ein körperliches, das vom Handeln und Wahrnehmen nicht zu trennen ist. „Verstehen“ führt hier zur subjektiven Konstitution von Objekten aus Handlungszusammenhängen, die Svanæs als „Interaction Gestalts“¹¹³ bezeichnet. „The data from the experiments indicate the interactive experience has gestalt properties, i.e. that its first-class objects are interacti-

¹⁰⁹ Ebd.

¹¹⁰ Ebd., S. 203.

¹¹¹ Licklider, »Some Reflections on Early History«, S. 119.

¹¹² Vergleiche 1.2.1.

¹¹³ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 160, 218, 244.

on gestalts.“¹¹⁴ Und diese sind ganz im Sinne Wertheimers Gestaltbegriffs „wholes, and not compositions of analytical elements“¹¹⁵.

Denn offensichtlich sprechen die Versuchspersonen hier über Dinge, die sich nicht erschöpfend über das Aussehen der schwarzen und weißen Quadrate (und damit die Reizgrundlage) beschreiben lassen, sondern die vor allem von ihrem Verhalten im Kontext der Interaktion bestimmt werden.¹¹⁶ „As the subjects got into Square World, they started identifying objects and describing their behavior and the spaces in which these objects resided.“¹¹⁷ Auch Svanæs versteht dabei die virtuellen Räume, die sich in der Erkundung der *Square World* auftun, als Räume, deren Struktur sich aus dem regelhaften Verhältnis von Handlung und anschließender Veränderung der Wahrnehmung entfaltet.¹¹⁸ Für die Objekte in diesen Räumen gilt: Was als *switch* beschrieben wird, betrifft nicht die symbolische Darstellung eines Schalters oder ein mentales Modell seiner Funktionalität, sondern ein Verhalten, das erst in der Benutzung erscheint. Was Svanæs hier beobachtet, liest sich daher wie eine Antwort auf die oben aufgeworfene Frage¹¹⁹, wieso Manovich überhaupt von Buttons sprechen kann, wenn er doch über Darstellungen von Buttons spricht, die einem Druckknopf noch nicht einmal im ikonischen Sinne ähnlich sehen:

When the subjects said »It is a switch«, they did not come to this conclusion from a formal analysis of the State Transition Diagram of the example. Nor did they conclude it from the visual appearance of the square, as the squares all looked the same. The switch behavior slowly emerged from the interaction as the square repeated its response to the subject's actions.¹²⁰

Wie im Anschluss an oben ausgeführte Überlegungen zu Direct Manipulation und Tangible User Interfaces sind die *Interaction Gestalts* also das, was entsteht, wenn das „perceptual-motor system“ an den „hooks“ eines Systems einen „grip“ für es entwickelt – in der wechselseitigen Differenzierung von „appearance“ und „action“. ¹²¹ Mausbewegung und errechnete Reaktion erscheinen so als zwei Seiten eines Prozesses, dessen wiederholte enge Verzahnung die Objekte, mit denen gehandelt wird, erst erzeugt. Svanæs schreibt:

¹¹⁴ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 218.

¹¹⁵ Ebd., S. 244.

¹¹⁶ Ebd., S. 161.

¹¹⁷ Ebd., S. 205.

¹¹⁸ Ebd., S. 207-216.

¹¹⁹ Vergleiche 6.2.1.

¹²⁰ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 206.

¹²¹ Djajadiningrat u. a., »Tangible products: redressing the balance between appearance and action«.

- At the perceptual level closest to the computer are the rapid mouse movements and button clicks that the subjects did when they explored new examples.
- At the cognitive level above emerge the Interaction Gestalts that result from the interactions.¹²²

Die „rapid mouse movements and button clicks“ stehen dabei in genau dem extrem engen raum-zeitlichen Verhältnis zu den errechneten Reaktionen darauf, das schon bei Beaudouin-Lafon Grundlage der Begriffe „indirection“, „integration“ und „compatibility“¹²³ ist. Es sind also wieder die Faktoren, die ein Einschreiben des Handelns in die Wahrnehmung im Sinne von Action Capture begünstigen, die hinter dem Entstehen von Interaction Gestalts stehen. Interaktion und ihre Objekte basieren also weniger auf Mensch-Computer-Kommunikation, die Kommunikation als Austausch von Nachrichten versteht, sondern auf kybernetischem Feedback. Noch bevor in *Pong* gelten kann, „[d]as »pong«-Geräusch der Kollisionsabfrage erscheint als Belohnung für eine richtige Antwort“¹²⁴, kommt es zu einer Verschmelzung wechselseitiger Reaktionen, die sich eben nicht als die Züge eines Spiels oder die Nachrichten eines Nachrichtenaustauschs verstehen lassen, und als deren Effekt Ball und Schläger erst hervortreten. In diesem Sinne hält Svanæs, wieder unter Verweis auf Merleau-Ponty (und die Begrifflichkeiten Heideggers), fest:

To talk about a living system's interaction with its environment in terms of actions and reactions, as if it was a board game, is a bit misleading. There are in most cases no delay between action and reaction, and the interaction is consequently in most cases better described as jazz improvisation than as chess. As human beings, we are in the world, and in constant interaction with it. Merleau-Ponty uses communion as a metaphor to describe this total involvement with the world. Most attempts to break interaction into pairs of »my move«/»your move« will be after-the-fact intellectualizations that do not make justice to the true nature of being-in-the-world.¹²⁵

Ergebnisse dieser Jazz-Improvisation sind mit den „Interaction Gestalts“ die Objekte der Interaktion selbst. Ganz ähnlich der Revision kognitivistischen Denkens bei Hutchins, in der das Zusammenspiel

122 Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 206.

123 Beaudouin-Lafon, »Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces«, S. 449-450.

124 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 84.

125 Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 204.

von „high-level cognitive processes“ und sensomotorischen „low-level processes“¹²⁶ von wechselseitiger Abhängigkeit geprägt ist, postuliert Svanæs hier die Interaction Gestalts als ein Zusammenspiel von „perceptual level“ und „cognitive level“, das sich keineswegs nur *bottom-up* vollzieht. Im Sinne der Gestalttheorie Wertheimers werden die Interaction Gestalts von den „inneren Strukturgesetzen“¹²⁷ des Ganzen bestimmt:

The objects described by the subjects in the experiments existed for them only through interaction. The objects emerged as a result of the interplay between the intentions of the users, the users' actions, and the feedback given by the system. When the intentions of the users changed, different objects emerged. From this perspective, it is meaningless to talk about objects as existing »in the external world« independent of the intentionality of the subject.¹²⁸

Es ist dieser Zusammenhang von externer Welt und den Objekten darin – seien es *fixes* oder *switches* –, der uns zurück zum Beginn dieses Kapitels führt.

9.3 OBJEKTE

9.3.1 *Distal Attribution*

Wie zur Illustration der Frage, die von Foersters „repräsentative Einheitskugel“¹²⁹ aufwirft – der Frage nämlich, wie die Stimulation von Sinneszellen, deren Position lediglich in ihren autologischen Koordinaten auf der Körperoberfläche vorliegt, zur Erzeugung einer externen Umwelt führen kann –, verlagert das Team um den Neurologen Paul Bach-y-Rita in den späten 1960er Jahren das Sehen auf die Rücken seiner Versuchspersonen: In einer Reihe berühmter Versuche zur „Sensory Substitution“¹³⁰ wird versucht, den Tastsinn zum Seh-sinn zu transformieren. Dazu verwenden die Forscher Videokameras, deren Bild in Vibration übersetzt wird.¹³¹ Die Helligkeitswerte des Videobildes versetzen so zunächst eine Matrix aus zwanzig mal zwan-

¹²⁶ Hutchins, »Enaction, Imagination, and Insight«, S. 446.

¹²⁷ Wertheimer, »Was ist, was will Gestalttheorie?«

¹²⁸ Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 230.

¹²⁹ von Foerster, »Kybernetik einer Erkenntnistheorie«, S. 58.

¹³⁰ Vergleiche zu diesem Begriff auch die Diskussion in Andy Clark. »Re-Inventing Ourselves: The Plasticity of Embodiment, Sensing, and Mind«. In: *Journal of Medicine and Philosophy* 32 (2007), S. 263–282.

¹³¹ Einen frühen Überblick gibt Paul Bach-y-Rita u. a. »Vision Substitution by Tactile Image Projection«. In: *Nature* 221 (1969), S. 963–964. Vergleiche auch Paul Bach-y-Rita und Stephen W. Kercel. »Sensory substitution and the human-machine interface«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 17.12 (2003), S. 541–546.

zig vibrotaktilen Elementen in Bewegung, die auf der Rückenlehne eines Stuhls angebracht sind. Während die Testpersonen dieses „Tactile Vision Substitution System“ mit verbundenen Augen auf dem Stuhl sitzen, spüren sie zunächst lediglich die Veränderung der taktilen Stimulation über die Zeit. Das ändert sich, wenn man ihnen über einen längeren Zeitraum erlaubt, die Kamera des Systems selbstständig zu bewegen und sie damit die *mastery* über ihre eigene Aktivität und die dadurch verursachte Veränderung ihrer Wahrnehmung erwerben:

By actively manipulating the camera themselves, subjects could scan a high contrast object, the images of which were converted to vibrotactile patterns. Although, initially, subjects reported experiencing only changing patterns of vibration on the torso, extensive practice led some of them to experience stationary objects in front of the camera.¹³²

Die Zuschreibung einer Stimulation auf dem (proximalen) Rücken in eine (distale) Umgebung wird bis heute als „distal attribution“ bezeichnet. Bei der Erklärung dieses Phänomens argumentieren die Forscher um Bach-y-Rita von Anfang an kybernetisch: „It is at least a plausible hypothesis that a translation of the input that is precisely correlated with self-generated movement of the sensor is the necessary and sufficient condition for the experienced phenomena to be attributed to a stable outside world.“¹³³ Ein einfaches und jedem vertrautes Beispiel wäre etwa die Bestimmung eines Geräusches als distal: Während sich nämlich ein selbsterzeugter Ton kaum verändern wird, wenn wir uns bewegen und uns, zum Beispiel, im Kreis drehen, wird ein externes Geräusch mit dieser Rotation in beiden Ohren rhythmisch seine Lautstärke verändern – und zwar „precisely correlated“ mit der Rotation des Körpers.

Wenn die vibrotaktilen Elemente hier auf der Klaviatur des Körpers spielen, lassen sie augenscheinlich erst genau dann Objekte aufscheinen, wenn diese Klaviatur sich selbst bewegt und „diese oder jene ihrer Noten der Einwirkung eines äußeren Hammers aussetzt“¹³⁴, um anschließend die eigene Bewegung und die Wirkung des Hammers miteinander zu vergleichen. Diese Hypothese wird später ganz im Sinne von Poincaré, dem Reafferenzprinzip oder dem Prinzip sensomotorischer Kontingenzen reformuliert werden, wenn es unter Verweis auf soeben zitierten Text heißt: „We begin with White’s (1970) suggestion that distal attribution results when *afference is lawfully related to efference*.“¹³⁵ Es ist daher nicht verwunderlich,

132 Jack M. Loomis. »Distal Attribution and Presence«. In: *Presence* 1.1 (1992), S. 113–119, S. 115–116.

133 Benjamin M. White u. a. »Seeing with the skin«. In: *Perception and Psychophysics* 7.1 (1970), S. 23–27, S. 25.

134 Merleau-Ponty, *Die Struktur des Verhaltens*, S. 13.

135 Loomis, »Distal Attribution and Presence«, S. 114, Hervorhebung von mir.

dass auch O'Regan als Vertreter der Idee sensomotorischer Kontingenzen in dieser Tradition forschen wird und feststellt: „Our results support the hypothesis that the extraction of a correlation between self-movements and resulting stimulation is a necessary condition for the acquisition of the concepts of space and object.“¹³⁶

Die Korrelation zwischen Bewegung und Stimulation wird in der Diskussion von „distal attribution“ mitunter auch als deren „linkage“¹³⁷ bezeichnet, weil ihr gesetzmäßiger Zusammenhang auch überaus kompliziert sein kann. In diesem Fall erlaubt nur „extensive training“, dass die Verknüpfung erlernt wird, womit sie „transparent“ wird und in eine distale Umwelt externalisiert werden kann.¹³⁸ *Linkage* erweist sich so als anderer Begriff für das „forward model“¹³⁹, das zwischen Efferenzkopie und ihrer phänomenalen Wirkung steht (Abbildung 50), und das dafür sorgt, dass unsere Wahrnehmung unter Einfluss dessen steht, was Fitts als die „basic habits or expectancies of individuals“¹⁴⁰ bezeichnet hat – und das jeder „Ähnlichkeit“ von Stimulus und Antwort zugrunde liegt. Es ist die in diesem Sinne zu verstehende erlernte Verknüpfung von Maus und Zeiger, die sich in obigem Experiment äußert, wenn eine uneindeutige Kreisbewegung im Sinne der Bewegung eines kleinen Kästchens auf einem Tisch wahrgenommen wird. Die nachhaltige Popularität der Maus, die Licklider so verwundert, scheint damit vor allem auf dem Faktor zu basieren, der als „Training“ im H-LAM/T bereits für ihren ursprünglichen Sieg in den Experimenten unter Engelbart gesorgt hatte. Jede *mastery* trainierter Benutzer ist so in erster Linie nicht als Fähigkeit effizienter Bedienung, sondern als Beherrschung der eigenen Wahrnehmung und ihrer sensomotorischen Kontingenzen zu verstehen.

Wie in der Argumentation zu sensomotorischen Kontingenzen, nach der nicht nur Modalitäten als (In-)Varianzen sensomotorischer Zusammenhänge erklärt werden, sondern auch Objekte als solche erscheinen, macht das Aufscheinen gefühlter Objekte vor der Kamera deutlich, dass *distal attribution* auch die Wahrnehmung von Objekten

136 Malika Auvray u. a. »There is something out there: Distal attribution in sensory substitution, twenty years later«. In: *Journal of Integrative Neuroscience* 4.4 (2005), S. 515–521. Dabei ist allerdings nicht davon auszugehen, dass die Objekte, von deren Existenz der Tastsinn auf dem Rücken informiert wird, jetzt plötzlich „visuell“ wahrgenommen werden und so der Tast- tatsächlich zum Sehsinn wird. Die gesetzmäßigen Zusammenhänge, die hier erlernt werden, könnten vielmehr dem Erlernen etwa des Lesens gleichen, das als visuelle Alternative des Hörens von Worten verstanden werden kann – die das Hören zwar ersetzen kann, dabei aber immer visuell bleibt. Vergleiche Ophelia Deroy und Malika Auvray. »Reading the world through the skin and ears: a new perspective on sensory substitution«. In: *Frontiers in Psychology* 3.457 (2012).

137 Loomis, »Distal Attribution and Presence«, S. 116.

138 Ebd.

139 Blakemore, Frith und Wolpert, »Spatio-Temporal Prediction Modulates the Perception of Self-Produced Stimuli«, S. 551.

140 Fitts und Seeger, »S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes«, S. 208.

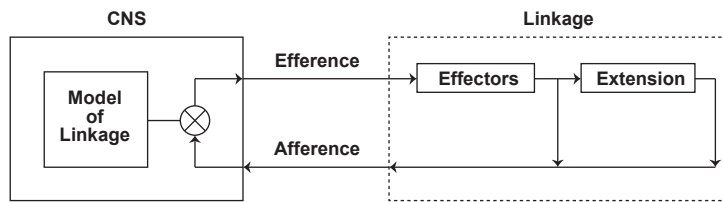


Abbildung 50: Blockdiagramm der *linkage* (nach Jack M. Loomis. »Distal Attribution and Presence«. In: *Presence* 1.1 (1992), S. 113–119, S. 114).

betrifft. Es ist daher nicht überraschend, dass sich die Überlegungen dazu wie Überlegungen zu den Beobachtungen von Svanæs lesen, nach denen sich im Erkunden einfacher interaktiver Systeme die Objekte der Interaktion erst konstituieren.¹⁴¹ Und wenn sich nach Svanæs der „locus of agency“¹⁴² schrittweise in die Modellwelt auf dem Bildschirm verlagert, beobachtet er hier nichts als die schrittweise Extraktion von Korrelationen oder das Erlernen von (In-)Varianzen. Wenn man diesen Prozess als „Immersion“ bezeichnen möchte, wird Immersion plötzlich nicht nur als das Eintauchen in ein Medium lesbar, dessen Takt sich zu unterwerfen ist, oder als willentliche „suspension of disbelief“¹⁴³. Immersion wird dann vielmehr auch zum Erlernen der *linkage* oder der gesetzmäßigen Zusammenhänge, die die Objekte an der Oberfläche des Mediums und ihre Räumlichkeit erst erzeugen. Es überrascht daher nicht, dass „distal attribution“ ausgerechnet als Erklärungsmodell für Telepräsenz oder „Presence“ im Allgemeinen herangezogen werden wird – also der „first personness“ im Sinne Laurels.¹⁴⁴

9.3.2 Rekurrente sensomotorische Muster

Der Diskurs um „distal attribution“ macht ausdrücklich klar, dass es sich bei dem, was hier als *linkage* erlernt wird, keineswegs um Repräsentationen im Sinne eines modellorientierten Kognitivismus handelt. Wie Svanæs sind auch die Vertreter eines kybernetischen Modells der „distal attribution“ nicht der Meinung, das „Verstehen“ sensomotorischer Zusammenhänge wäre ein kognitiv-rationales:

By no means is it intended that this representation is cognitive or even accessible to conscious awareness. Rather, it is intended to be a representation more along the

¹⁴¹ Für eine Diskussion von „Sensory Substitution“ und Enaction im Sinne der Human-Computer Interaction vergleiche auch Yon Visell. »Tactile sensory substitution: Models for enaction in HCI«. In: *Interacting with Computers* 21.1-2 (2009), S. 38–53.

¹⁴² Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 144.

¹⁴³ Laurel, »Interface as mimesis«, S. 71.

¹⁴⁴ Loomis, »Distal Attribution and Presence«.

lines of Piaget's (1954) notion of »sensorimotor schema,« a functional organization that operates independently of thought.¹⁴⁵

Auch hier ist es also die Arbeit Piagets zu rekurrenten sensomotorischen Mustern, die als Vorlage für ein Verstehen des Phänomens fungiert.

Wie bereits angedeutet, begreift Piaget sensomotorische Intelligenz als ein „Gleichgewicht zwischen Assimilation und Akkomodation“¹⁴⁶. Die permanente Herstellung dieses Gleichgewichts steht im Zentrum seiner „genetischen Erkenntnistheorie“, wo sie der gesamten Hierarchie kognitiver Prozesse und Strukturen zugrunde liegt, von den einfachsten sensomotorischen Verknüpfungen bis hin zum abstrakten und formalen Denken. Die Entwicklung dieser Strukturen ist dabei ausschließlich in der eigenen körperlichen Aktivität verankert, denn „the newborn infant [...] has only her own activity, and even the simplest act of recognition of an object can be understood only in terms of her own activity.“¹⁴⁷ Treibende Kraft der Entwicklung ist nach Piaget der Drang zur Herstellung von Gleichgewichtszuständen.¹⁴⁸ Und da das Feedback der Kybernetik nichts anderes zum Ziel hat, als Gleichgewichtszustände zu erzeugen, überrascht es nicht, dass die Herstellung von Gleichgewicht hier als zirkuläres Zusammenspiel lesbar wird.

Die „Grundprozesse“¹⁴⁹ dieses Zusammenspiels bilden Assimilation und Akkomodation, die Integrierung der Umwelt in vorhandene Schemata und die Differenzierung von Schemata unter dem Druck der Umwelt¹⁵⁰, die Piaget folgendermaßen charakterisiert:

Als erstes die Assimilation oder der Einbezug eines äußeren Elements (Gegenstand, Ereignis usw.) in ein sensomotorisches oder begriffliches Schema des Subjekts. [...]

Der zweite zentrale Prozeß ist die Akkomodation, das heißt die Notwendigkeit für die Assimilation, die Besonderheiten der zu assimilierenden Elemente zu berücksichtigen.¹⁵¹

Damit Piaget aus diesen Grundprozessen eine feedbackorientierte Theorie der Kognition konstruieren kann, benötigt er zwei Postulate, die ihr Verhalten betreffen:

¹⁴⁵ Loomis, »Distal Attribution and Presence«, S. 116.

¹⁴⁶ Piaget, *Nachahmung, Spiel und Traum. Gesammelte Werke* 5, S. 114.

¹⁴⁷ Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, S. 176.

¹⁴⁸ Hierzu und zum Folgenden vergleiche vor allem Jean Piaget. *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag, 1976 [1975].

¹⁴⁹ Ebd., S. 13.

¹⁵⁰ Ebd., S. 39.

¹⁵¹ Ebd., S. 13-14.

Erstes Postulat: Jedes Assimilationsschema hat die Tendenz zu wachsen, das heißt sich die Elemente einzuverleiben, die ihm äußerlich und mit seiner Natur verträglich sind. [...]

Zweites Postulat: Jedes Assimilationsschema ist gezwungen, sich an die Elemente zu akkomodieren, die es assimiliert, das heißt sich entsprechend ihren Besonderheiten zu verändern [...].¹⁵²

Ergebnis beider Tendenzen ist die Herstellung von Gleichgewichtszuständen, die sich aus der Struktur des Subjekts und den „Besonderheiten“ oder dem „Widerstand“¹⁵³ der Objekte ergeben. In seiner Studie „Die Äquilibration der kognitiven Strukturen“¹⁵⁴ untersucht Piaget dieses Zusammenspiel im Detail und greift dabei explizit auf das Vokabular der Regelungstechnik zurück: „Äquilibration“ und „Reäquilibration“ sind Ergebnis von „Regulierungen“, die auf Störungen reagieren. Diese Regulierungen basieren auf Feedback.¹⁵⁵

Piaget ist sich dabei wohl bewusst, dass die Regulierung durch Feedback voraussetzt, dass ein Soll existieren muss, von dem das Ist nach einer Störung abweicht. Und wie in Anlehnung an die These, Computerspiele oder Interfaces würden die Akkomodation an ihre Logik erzwingen, und so erzeugen und formatieren, was der Mensch als User sei¹⁵⁶, schlägt auch Piaget zunächst vor, dass das Soll der Äquilibration mit der Umwelt in der Anpassung an ihre Objekte bestehen könnte:

Eine erste Interpretation könnte darin bestehen, daß man dieses Programm mit der Natur der Dinge, das heißt mit den zunächst unbekannten Eigenschaften der Objekte identifiziert, denen sich das Subjekt aber asymptotisch nähert und deren Druck bei seinem Experimentieren und tastenden Versuchen erfährt.¹⁵⁷

Gegen diesen Vorschlag hält er aber, in Vorwegnahme eines konsequenten Enactivism, die These, dass selbst die „beobachtbaren physikalischen Eigenschaften“ dieser Objekte für das Subjekt nur „durch reflektierende Abstraktion aus den Koordinationen der Aktionen des Subjekts abgeleitet werden“ können.¹⁵⁸ Das Subjekt erzeugt also die Eigenschaften der Objekte zumindest mit. Und darum „ist der einzige Regulator, den wir den kognitiven Regulierungen zuschreiben

¹⁵² Ebd., S. 14-15.

¹⁵³ Ebd., S. 16.

¹⁵⁴ Ebd.

¹⁵⁵ Ebd., S. 25.

¹⁵⁶ Vergleiche Kapitel 6, sowie Pias, »Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse«, S. 315.

¹⁵⁷ Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 29.

¹⁵⁸ Ebd.

können, ein innerer Regulator.“¹⁵⁹ Wie in der Arbeit Varelas ist auch hier jegliches Ziel oder Soll ausschließlich die Erhaltung des Gesamtsystems – womit Wertheimers Rede vom Ganzen und seinen Elementen im Sinne der Idee der Autopoiese lesbar wird:

[I]n jedem biologischen und kognitiven System muß man das Ganze als ursprünglich charakterisieren; es geht nicht aus der Verbindung der Teile hervor, sondern die Teile gehen durch Differenzierung aus ihm hervor. Das Ganze weist deshalb eine Kohäsionskraft, also die Eigenschaft Selbsterhaltung auf, durch die es sich von den nicht organischen physikochemischen Ganzheiten unterscheidet. [...]

Es ist somit kein Zirkelschluß (genauer: es ist zwar ein Zirkel, aber kein *circulus vitiosus*), wenn man annimmt, die Ganzheit eines Systems spiele den Teilregulierungen gegenüber die Rolle des Regulators, denn sie auferlegt diesen eine äußerst zwingende Norm: sich der Erhaltung des Ganzen unterordnen, sich also in den geschlossenen Zyklus der Interaktionen einordnen, oder von einer mit dem Tod eines Organismus vergleichbaren allgemeinen Zersetzung fortgerissen werden.¹⁶⁰

Ganz im Sinne zirkulärer Kausalität wäre damit „der Zyklus der Interaktion [...] sowohl Ursache als auch Ergebnis der Regulierungen.“¹⁶¹ Subjekt, Handlung und Objekt treten damit in ein unauflösbares und enges Abhängigkeitsverhältnis, das mit gutem Grund an Svanæes Rede von der Sinnlosigkeit erinnert, Objekten in der Welt eine Existenz unabhängig von Intentionalität zuzuschreiben: „Auf der Stufe der sensomotorischen Schemata versteht es sich ebenfalls von selbst, daß sich die verschiedenen Bewegungen und wahrnehmungsmäßigen Anzeichen, die zusammen ein Schema ausmachen, zu einem Zyklus von in Interaktion befindlichen Elementen [...] verbinden, der sich nicht von materiellen Inhalt der Aktionen und von ihren Zielen [...] unterscheiden läßt.“¹⁶² Damit gilt: „das Objekt ist notwendig für den Ablauf der Aktion, und umgekehrt verleiht das Assimilationschema dem Objekt seine Bedeutung.“¹⁶³ In diesem Lichte scheint erneut die Möglichkeit auf, dass Computerspielen und Interagieren vielleicht doch nicht so sehr die reine Anpassung an die Regeln der Maschine bedeuten, sondern eher die Herstellung eines Gleichgewichts zwischen *paidia* und *ludus* – dem Unterwerfen auch der „virtuellen“ Welten unter die eigenen Schemata und dem Unterwerfen eigener Schemata unter die Regeln dieser Welten.

159 Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 29.

160 Piaget, *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*, S. 30.

161 Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 30.

162 Ebd., S. 13.

163 Ebd., S. 16.

Im Folgenden unterscheidet Piaget die „beobachtbaren Tatsachen“ einer Interaktion, als „das was das Subjekt festzustellen glaubt“¹⁶⁴ von den „Koordinationen“, die in der subjektiven Interpretation, entweder der eigenen Aktivität oder der Aktivität der Umwelt bestehen¹⁶⁵. Dabei gilt, ganz im Sinne eines Embodiment, dass die subjektive Feststellung beobachtbarer Tatsachen „nie von den Aufnahmewerkzeugen (und folglich einer Assimilation) unabhängig ist“¹⁶⁶. Darüber hinaus gilt aber auch, dass Tatsachen und Koordinationen zyklisch voneinander abhängen:

Wenn man also in einem Zustand N von den beobachtbaren Tatsachen ausgeht, um die Koordinationen festzustellen, die sich auf dieser Stufe N ausbilden, so muß man sich immer vor Augen halten, daß solche beobachtbaren Tatsachen nie primäre Tatsachen darstellen, sondern, daß sie selbst üblicherweise von den beobachtbaren Tatsachen und Koordinationen der Stufe N – 1 abhängig sind, und so fort.¹⁶⁷

Wenn man die beobachtbaren Tatsachen im Bezug auf das Objekt als Obs.O, im Bezug auf das Subjekt als Obs.S und die entsprechenden Koordinationen als Koord.O und Koord.S bezeichnet, ergibt sich aus dieser Einsicht:¹⁶⁸

Obs.O → Obs.S → Koord.S → Koord.O → Obs.O → usw.

Wie bei den Vertretern von Enaction und Reafferenz gilt also auch hier, dass die beobachtbaren Tatsachen im Stile der Klaviatur, die sich selbst bewegt, „eine vorhergehende Aktion des Subjekts voraus“¹⁶⁹ setzen. Das Verhältnis von Tatsache und Aktivität ist damit ein Rekursives, und auch die Tatsachen sind teilweise Folgen der Koordinationen des Subjekts. Piaget stellt zwar eine objektive Existenz von Umwelt und Objekten nicht grundsätzlich in Frage¹⁷⁰, er erläutert aber ausführlich, dass erstens die Differenzierung von Subjekt und Objekt, und damit die Unterscheidung der Obs.S von den Obs.O, ebenfalls keine primäre Tatsache ist, sondern erlernt wird¹⁷¹, und dass zweitens aus Sicht des Subjekts sowohl die Obs.O als auch die Obs.S Resultat von Regulierungen sind¹⁷².

Insgesamt erscheint nach diesem Modell „das Geheimnis der kognitiven Entwicklung“¹⁷³, vom Meistern der sensomotorisch erfahr-

164 Ebd., S. 49.

165 Ebd., S. 51.

166 Ebd., S. 49.

167 Ebd.

168 Ebd., S. 62.

169 Ebd., S. 95.

170 Varela, Thompson und Rosch, *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, S. 176.

171 Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 85.

172 Ebd., S. 131-143.

173 Ebd., S. 170.

baren Umwelt bis zur Herausbildung von Repräsentationen und Formalismen, als aufeinander aufbauender Prozess „majorierender Äquilibrationen“¹⁷⁴. Die Entwicklung kognitiver Strukturen beruht nach diesem Bild auf „reflektierender Abstraktion“, die ihrerseits auf „Operationen über Operationen“ zurückgeht, „deren Ausformung durch ihr Funktionieren bewirkt wird“¹⁷⁵. Die Äquilibration und Konstruktion von Operationen ist dabei „in vielen Punkten von der Äquilibration zwischen dem Subjekt und den Objekten abhängig“¹⁷⁶. Das ist es, was Svanæs als das Zusammenspiel von „perceptual level“ und „cognitive level“ beschreibt¹⁷⁷, und was sich bei Hutchins zwischen „high-level cognitive processes“ und „culturally orchestrated low-level processes“ vollzieht¹⁷⁸. In der Interaktion mit der Umwelt erzeugen wir kognitive Strukturen als handlungsorientierte „Transformationssysteme“¹⁷⁹, die den Umgang mit dieser Umwelt ermöglichen und widerspiegeln, und die die Dinge dieser Umwelt zu dem machen, was sie zu sein scheinen.

9.3.3 (Eigen-)Verhalten

Unter dem Titel „Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten“¹⁸⁰ wird von Foerster Piagets formale Beschreibung der Abhängigkeit von Koordinationen und Tatsachen von vorherigen Koordinationen und Tatsachen weiter formalisieren – und dabei kybernetisieren¹⁸¹. Unter der Prämisse, dass „die Organisation sensorisch-motorischer Interaktionen (und auch zentraler Prozesse [...]) als zirkuläre (oder präziser: rekursive) Organisation aufgefaßt wird“¹⁸², schlägt er vor, die Symbolfolge, die diesen Zusammenhang bei Piaget beschreibt, in ein Kalkül zu überführen. Hierzu verkürzt er zunächst die Menge der verwendeten Symbole und schreibt:

Der Kürze (oder Klarheit?) halber schlage ich vor, den eben zitierten Symbolismus noch weiter zu komprimieren, d.h. alles, was beobachtet wird (d.h. Obs.O und Obs.S), in eine einzige Variable, obs, und die koordinierenden Operationen, die vom Subjekt ausgeführt werden (d.h.

174 Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 36.

175 Ebd., S. 170.

176 Ebd.

177 Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 206.

178 Hutchins, »Enaction, Imagination, and Insight«, S. 446.

179 Piaget, *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*, S. 22.

180 Heinz von Foerster. »Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1970], S. 103–115.

181 Vergleiche hierzu auch Scherffig, »Feedback: Vom Unding zur Sache«.

182 von Foerster, »Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten«, S. 103.

Coord.S und Coord.O), in einen einzigen Operator, COORD, zusammenzufassen.¹⁸³

Als Ergebnis dieser Komprimierung setzt er die Formel:¹⁸⁴

$$\text{obs}_1 = \text{COORD}(\text{obs}_0)$$

Die Formel drückt zunächst nichts anderes aus, als Piagets Feststellung, dass die beobachtbaren Tatsachen „selbst üblicherweise von den beobachtbaren Tatsachen und Koordinationen der Stufe $N - 1$ abhängig sind“¹⁸⁵. Piagets nachgestelltes „und so fort“ äußert sich dann als:

$$\text{obs}_2 = \text{COORD}(\text{obs}_1) = \text{COORD}(\text{COORD}(\text{obs}_0))$$

und in Konsequenz:

$$\text{obs}_n = \underbrace{\text{COORD}(\text{COORD}(\text{COORD}(\dots \text{obs}_0 \dots)))}_{n\text{-mal}} \underbrace{\dots}_{n\text{-mal}}$$

beziehungsweise

$$\text{obs}_n = \text{COORD}^{(n)}(\text{obs}_0)$$

Der entscheidende Trick, den von Foerster nun nutzt, ist die rekursive Definition einer Tatsache als Grenzwert einer unendlichen Sequenz aus Koordinationen:

$$\text{obs}_\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} \text{COORD}^{(n)}(\text{obs}_0)$$

Daraufhin wird er Piagets Formulierung, nach der die „beobachtbaren Tatsachen nie primäre Tatsachen darstellen“¹⁸⁶, gerecht, indem er diese unendliche Folge umformuliert zu:

$$\text{obs}_\infty = \text{COORD}(\text{COORD}(\text{COORD}(\text{COORD}(\dots$$

Er erhält damit einen Ausdruck, in dem es erstens keine primären Tatsachen (oder „unabhängige Variablen“ beziehungsweise „primäre Argumente“¹⁸⁷) obs_0 mehr gibt und in dem zweitens jede (indefinite) Folge von Koordinationen durch obs_∞ ersetzt werden kann:

$$\begin{aligned} \text{obs}_\infty &= \text{obs}_\infty \\ \text{obs}_\infty &= \text{COORD}(\text{obs}_\infty) \\ \text{obs}_\infty &= \text{COORD}(\text{COORD}(\text{obs}_\infty)) \\ \text{obs}_\infty &= \text{COORD}(\text{COORD}(\text{COORD}(\text{obs}_\infty))) \\ &\text{etc.} \end{aligned}$$

¹⁸³ Ebd., S. 104-105.

¹⁸⁴ Zu diesem und den folgenden Schritten vergleiche ebd., S. 104-110.

¹⁸⁵ Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 49.

¹⁸⁶ Ebd.

¹⁸⁷ von Foerster, »Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten«, S. 106.

Damit hängt obs_∞ ausschließlich von sich selbst ab: „Obwohl in dieser Darstellung der *horror infinitatis* [...] verschwunden ist (alle Ausdrücke in COORD sind finit), so ist doch ein neues Merkmal aufgetreten, nämlich jenes, daß die abhängige Variable obs_∞ sozusagen »von sich selbst abhängig« (oder: »selbstdefinierend«, »selbstreflektierend«, etc. durch den Operator COORD) geworden ist.“¹⁸⁸ In der rekursiven Bezugnahme von Koordinationen auf ihre Vorgänger treten die obs_∞ als stabile Zustände auf, die unabhängig vom Start der Rekursion sind.¹⁸⁹

Diejenigen $\text{obs}_{\infty i}$, die diese Gleichung erfüllen¹⁹⁰, nennt von Foerster „Eigen-Werte“¹⁹¹ und bezeichnet sie mit Obs_i . Sie sind die stabilen und diskreten Zustände (oder „Gleichgewichtszustände“), die sich in der wiederholten Koordination eines Subjekts im Umgang mit seiner Umwelt einstellen. Ihre Zirkularität schreibt von Foerster als:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{COORD}^{(n)} \equiv \text{COORD} \quad \begin{array}{c} \text{---} \\ \uparrow \end{array}$$

In diesem Kreislauf bedingen Eigenwerte und Koordinationen einander und es gilt: „die Obs_i repräsentieren die in der Außenwelt beobachtbaren Manifestationen der (introspektiv zugänglichen) kognitiven Rechenprozesse (Operationen) COORD.“¹⁹² Damit gelangt er zu einer Definition der „Objekte“ mit denen wir umgehen, die sich ausschließlich auf unsere Handlungen stützt:

Ontologisch gesehen können »Eigenwerte« und »Objekte« nicht unterschieden werden; und so ist es auch unmöglich, vom ontogenetischen Standpunkt zwischen stabilem Verhalten eines Subjekts und der Manifestation des »Begreifens« eines Objekts durch dieses Subjekt zu unterscheiden. In beiden Fällen sind »Objekte« ausschließlich in der Erfahrung der eigenen sensomotorischen Koordination eines Subjekts eingeschlossen, d.h. »Objekte« sind durchweg subjektiv!¹⁹³

Erst die (kommunikative) Verknüpfung zweier Subjekte gibt Objekten demnach überhaupt einen Status jenseits subjektiver sensomotorischer Kopplungen – als Eigenwerte einer zirkulären Abhängigkeit, die, mit Eco gesprochen, „vermittels eines Systems kontinuierlicher Kommutationen durch das Verweisen von Zeichen zu Zeichen – wie die Asymptote, die die kulturellen Einheiten niemals »berührt« – die

¹⁸⁸ von Foerster, »Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten«, S. 107.

¹⁸⁹ Als leicht verständliches Beispiel für solche Zustände führt von Foerster den Satz „This sentence has ... letters.“ an, der auf zwei stabile Zustände hinausläuft: „thirty-one“ und „thirty-three“. Ebd., S. 113-114.

¹⁹⁰ In seinem Beispiel wären dies „thirty-one“ und „thirty-three“.

¹⁹¹ von Foerster, »Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten«, S. 107.

¹⁹² Ebd., S. 108.

¹⁹³ Ebd., S. 109-110.

kulturellen Einheiten umschreibt, die andauernd als Gegenstand der Kommunikation vorausgesetzt werden.“¹⁹⁴ Vor allem formuliert von Foerster hiermit aber eine formale Version der immer wieder vorgebrachten These, Objekte stellten (In-)Varianzen ihrer Veränderung durch das Handeln dar oder würden sich in der Extraktion von Korrelationen aus dem Verhältnis von Wahrnehmen und Handeln ergeben. Im Einklang mit Piagets Feststellung, dass selbst die „beobachtbaren physikalischen Eigenschaften“ von Objekten nur „durch reflektierende Abstraktion aus den Koordinationen der Aktionen des Subjekts abgeleitet werden“¹⁹⁵, macht er dabei klar, dass dieser Prozess keine primären Tatsachen benötigt, um zu stabilen Zuständen zu gelangen und dass es im „komplementären Verhältnis“¹⁹⁶ von Eigenwerten und Koordinationen zu einer permanenten gegenseitigen Neubestimmung kommt. Objekte entstehen in ihrer Behandlung als selbstbestimmende Eigenwerte der rekurrenten sensomotorischen Koordination und sind daher greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten.

Die Frage, von welcher Welt beim Interagieren die Rede ist, bekommt so eine doppelte Antwort im Sinne des Reafferenzprinzips: Sowohl die Räumlichkeit „virtueller“ und „realer“ Welten, als auch die Objekte darin sind Resultat unseres Verhaltens. Sie sind damit Tatsachen im Wortsinne und Gleichgewichtszustände im Verhältnis von Handlung, Erwartung und Wahrnehmung.

9.4 ZURÜCK ZUM ANFANG: FREE-ENERGY

Die Rückkehr kybernetischen Denkens in den kognitionswissenschaftlichen Diskurs, die uns hier als Embodiment und Enaction begegnet ist, erfährt zur Zeit eine weitere Aktualisierung, wenn unter dem Titel „Free-Energy Principle“¹⁹⁷ Prinzipien der statistischen Physik als mathematisches Modell „verkörperten“ Denkens vorgeschlagen werden. Unter Berufung auf Ashbys Arbeiten zu Regelung und Homöostase, in expliziter Rückkehr zur Informationstheorie im Sinne Shannons und in indirekter Fortsetzung der Arbeit Wieners, wird hier der Versuch unternommen, „to unify all adaptive autopoietic and self-organizing behavior under one simple imperative; *avoid surprises and you will last longer*.“¹⁹⁸ „Surprises“ werden dabei als „the difference between an organism’s predictions about its sensory inputs [...] and the sensations it actually encounters“ definiert, während „free-energy“ als informationstheoretisches Maß

¹⁹⁴ Eco, *Einführung in die Semiotik*, S. 78.

¹⁹⁵ Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 29.

¹⁹⁶ von Foerster, »Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten«, S. 107.

¹⁹⁷ Vergleiche zur Einführung Karl J. Friston, Jean Daunizeau und Stefan J. Kiebel. »Reinforcement Learning or Active Inference?« In: *PLOS ONE* 4.7 (2009), S. 1–13, sowie Karl J. Friston, Christopher Thornton und Andy Clark. »Free-Energy Minimization and the Dark-Room Problem«. In: *Frontiers in Psychology* 3 (2012), S. 1–7.

¹⁹⁸ Ebd., S. 2, Hervorhebung im Original.

eine obere Schranke für diese Differenz bildet. Die grundsätzliche Aktivität alles Lebenden wäre damit die Minimierung der *free-energy*. Während dieses Modell einerseits die Folge hat, dass Organismen als Inferenzmaschinen (oder „Bayesian brains“) erscheinen, die wie der *Anti-Aircraft Predictor* ständig ihr *forward model* der erwarteten Veränderung ihrer Sinneseindrücke den tatsächlich erfahrenen Sinneseindrücken anpassen, sind die Folgen des Prinzips noch weitreichender. Denn *free-energy* kann auf zweierlei Art minimiert werden: durch die Anpassung der subjektiven Interpretation von Sinneseindrücken (in der Wahrnehmung) oder durch aktive Veränderung der Sinneseindrücke (im Handeln) – womit, wie im Falle der Klaviatur, die sich selbst bewegt, gilt: „we harvest sensory signals that we can predict“¹⁹⁹. Durch dieses zweiseitige Minimieren der *free-energy* nähern sich Organismen demnach einem „equilibrium with its environment“²⁰⁰ und werden damit zum Modell ihrer Umgebung²⁰¹ – was nicht nur Piagets Idee in Erinnerung ruft, kognitive Strukturen seien Transformationssysteme, die den Umgang mit der Umwelt widerspiegeln, sondern auch Ashbys kybernetische Feststellung, „every Good Regulator of a system must be a model of that system.“²⁰² In dieser radikalen informationstheoretischen Sicht auf Handeln und Wahrnehmen fallen beide damit endgültig zusammen, womit *Common Coding* dahingehend radikalisiert wird, dass hier die neuronale Kodierung beider zu ein und demselben wird:

Usually, forward models in the motor control literature are used to finesse control, given motor commands prescribing a desired movement trajectory [...]. The free-energy formulation offers a simpler view; prediction errors are not there to finesse motor signals; *they are the motor signals*.²⁰³

Folge dieser informationstheoretischen Argumentation (deren mathematischer Komplexität die hier präsentierte Verkürzung natürlich nur bedingt gerecht werden kann) ist damit das „*Regelsystem* im Sinne der Techniker“²⁰⁴ nach von Holst und Mittelstaedt, in dem die

199 Friston, Thornton und Clark, »Free-Energy Minimization and the Dark-Room Problem«, S. 2-3. Zu „active inference“ und „active sampling“ vergleiche auch Friston, Daunizeau und Kiebel, »Reinforcement Learning or Active Inference?«

200 Karl J. Friston u. a. »Action and behavior: a free-energy formulation«. In: *Biological Cybernetics* 102.3 (2010), S. 227–260, S. 6.

201 Friston, Thornton und Clark, »Free-Energy Minimization and the Dark-Room Problem«, S. 2.

202 Ebd.

203 Friston u. a., »Action and behavior: a free-energy formulation«, S. 8, Hervorhebung im Original.

204 von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 468, Hervorhebungen im Original.

interne Kopie afferenter Meldungen an die Muskeln von ihren reafferenten Effekten kompensiert wird²⁰⁵. Es ist die klassische Feedbackschaltung, die Ist und Soll miteinander vergleicht, um deren Differenz als Handlung wirksam werden zu lassen, die das Ist in Richtung des Solls korrigiert. Damit erklärt das „Free-Energy Principle“ wieder einmal alle biologischen Organismen zu Vertretern jener feedbackgesteuerten Servomechanismen, die bereits hinter der Entgrenzung der Regelungstechnik in der Kybernetik standen²⁰⁶: als „device in which the amplifier element driving the output is actuated by the difference between the input to the servo and its output“²⁰⁷ – und das kybernetische „Ende des Menschen“²⁰⁸ aktualisiert sich aufs Neue.

205 Vergleiche 8.4.

206 Vergleiche 2.2.2.

207 Hazen zitiert nach Bennett, *A History of Control Engineering 1930-1955*, S. 108.

208 Pias, »Zeit der Kybernetik – Eine Einstimmung«, S. 16.

Teil VI

FAZIT

10.1 ZUSAMMENFASSUNG

Als mit *Whirlwind* der erste im heutigen Sinne interaktive Computer zur Verfügung steht, ist er zu neu, um benutzbar zu sein. Dem rückgekoppelten digitalen Rechnen fehlt Sichtbarkeit und Kommensurabilität. Unter Rückgriff auf die unmittelbare *culture* und die institutionelle und materielle Umgebung des Projektes stellen ihm Ingenieure und Psychologen daher Schnittstellen an die Seite, die zwar nicht zur Flugsimulation geeignet sind, aber zumindest den buchstäblichen Zugriff auf die bis dato unsichtbare Unterfläche des Rechnens erlauben – weil sie ihr eine symbolische Oberfläche zuordnen und diese an die Handlungen menschlichen Bedienpersonals koppeln. Damit aber sind die Probleme der Benutzung interaktiver Computer keineswegs ein für allemal gelöst. Sie stehen vielmehr gerade erst an ihrem Anfang.

Denn *Whirlwind* ist eine Feedbackmaschine. Der Rechner steht genauso in der Tradition symbolischer Maschinen wie kybernetischen Feedbacks. Sein Rechnen entbehrt jeder Anschaulichkeit und muss, um wahrnehmbar zu sein, übersetzt werden – womit die Informatik zu einer „*Design-Disziplin*“¹ wird. Zugleich findet dieses Rechnen in permanenter Rückkopplung mit seiner Umwelt statt – womit die Darstellung des Rechnens Teil von Handlungskontexten wird, die das, was hier zu sehen ist, zumindest rahmen.

In der Folge entsteht ein heterogenes Feld der Auseinandersetzung mit diesen Problemen, das sich um das Dispositiv der Interaktion gruppiert, als wissenschaftliche *trading zone* aber keine gemeinsame Sprache, kein Paradigma oder Denkstil, sondern lediglich Dialekte herausbildet. Die Heterogenität dieses Feldes folgt direkt aus dem zentralen Problemfeld, das die Computerbedienung mit sich bringt: Interaktion ist immer ein Zusammenkommen von technischer Symbolmanipulation an der Unterfläche von Computern mit der Interpretation symbolischer Darstellungen an deren Oberfläche – ein Zusammenhang, den Nake „algorithmisches Zeichen“² nennt. Zugleich steht dieses Zusammenkommen im Zeichen der Rückkopplung von Wahrnehmung und Behandlung eben dieser Oberflächen.

Trotz der Tatsache, dass sich die Interaktion der Informatik zu einem guten Teil auf die kybernetische Tradition der Rückkopplung

¹ Hellige, »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«, S. 16, Hervorhebung im Original.

² Vergleiche 4.5.2.

von Rechenprozess und Umwelt stützt, spielt die Kybernetik innerhalb der *trading zone* einer akademischen Human-Computer Interaction spätestens seit *Whirlwind* keine nachhaltige Rolle mehr. Zugleich entsteht in unmittelbarer Nachbarschaft der Entwicklung von *Whirlwind* und SAGE eine Wissenschaft, die ebenfalls an kybernetische Traditionen anknüpft, um gleichzeitig mit ihnen zu brechen. Die Kognitionswissenschaft fasst Denken als Rechnen auf und entsteht in einem Kontext, der geprägt ist von der Konfrontation symbolischen Rechnens mit der Interpretation symbolischer Darstellung von Rechenprozessen. Sie speist sich dabei überspitzt gesagt aus einer Verwechslung intra- und extrasymbolischer Bedeutung, von Determination und Interpretation, die den Computer als Kommunikationspartner vermenschlicht und den Menschen zum Computer erklärt. Zugleich ist sie von Anfang an Vorlage für zahlreiche Versuche, Interaktion als hierarchisches Problemlösen innerhalb der Regeln einer *philosopher's physics* abstrakter Problem- oder Modellwelten zu begreifen.

Die tatsächliche Entwicklung der Schnittstellen interaktiver Rechner erfolgt aber immer auch neben und im Widerspruch zu dieser Tradition. Engelbart zum Beispiel macht die Unterstützung des Denkens in der Interaktion vor allem an der sensomotorischen Kopplung von Mensch und Rechner fest. Es ist das Erlernen dieser Kopplung, das für ihn nach dem Modell des H-LAM/T Voraussetzung von Interaktion ist – was entgegen der Ideen von natürlichen oder intuitiven Schnittstellen zur Durchsetzung der Maus führt. Auch Direct Manipulation und Tangible User Interfaces machen in der Folge – und trotz aller Versuche, sie kognitivistisch zu erklären – klar, dass die Rückkopplung von Mensch und Rechner ein „atavistischer“³ Prozess ist, der gleichsam „unterhalb“ der Existenz symbolischer Darstellungen und ihrer kognitiven Verarbeitung im Sinne eines Problemlösens abläuft. In diesem Prozess findet, so deutet sich an, eine wechselseitige Bestimmung von Mensch und Computer statt, die sich als Naturalisierung des Computers und Normalisierung seiner Benutzer in dessen Sinne äußert.

Folge der engen sensomotorischen Kopplung an die Feedbackmaschinen, die wir benutzen, scheint damit vor allem zu sein, dass wir uns diesen Maschinen angleichen. Diese Idee zeigt sich zum Beispiel in der Auseinandersetzung mit interaktiver Medienkunst, die sich als Genre eindeutig am interaktiven Rechnen abarbeitet, dabei aber immer wieder als Konditionierung der Rezipienten durch das Werk kritisiert wird. Aber auch ein Blick auf eine Kritik an Computerspielen, die diesen eine Abrichtung im Sinne von Systemtakt und eingeschränkten, weil vorprogrammierten Interaktionsmöglichkeiten unterstellt, weist in diese Richtung.

³ Hutchins, Hollan und Norman, »Direct Manipulation Interfaces«, S. 337.

Nimmt man aber die Zirkularität des Verhältnisses von Mensch und Rechner ernst, ist die Idee einer konditionierenden Interaktion insgesamt in Frage zu stellen – weil Interaktion eben als wechselseitige Kontrolle auftritt und sich kein Ursprung festmachen lässt, der das Verhalten des jeweiligen Gegenübers determinieren würde. Da bereits „die elementarsten Modelle eines Signalflusses in einem kybernetischen System eine (motorische) Interpretation eines (sensorischen) Signals bedürfen“⁴ und das Sensorische zugleich von der vorangegangenen Motorik abhängt, wird *agency* grundsätzlich problematisiert und es wird unklar, „wer angefangen hat“⁵ und nach wessen Regeln hier gespielt wird.

Ein weiterer Blick auf diese Kritik der Interaktion macht darüber hinaus deutlich, dass sie implizit der kognitionswissenschaftlichen Verwechslung folgt, nach der die Stimuli, die als symbolische Darstellungen getreu ihrer Programmierung an den Oberflächen von Rechnern erscheinen, nach dieser Konkretion auch getreu ihrer vorgesehenen Gestalt wahrgenommen und verarbeitet werden. Sie setzt voraus, dass gilt „the status of external representations qua representations is unproblematic.“⁶ Der „symbolischen Realität“⁷ des (symbolisch dargestellten) Rechnens wird eine direkte Übersetzbarkeit in das Denken seiner Benutzer unterstellt, die als „physical symbol systems“⁸ die Symbole dieser Realität regelgeleitet verarbeiten und in ihren Modellwelten zu handeln vermeinen.

Bereits zu Beginn dieser Arbeit offenbart aber ein Blick auf die Wahrnehmungs- und Gestaltpsychologie des späten 19ten und frühen 20ten Jahrhunderts, dass wir als „observer in action“⁹ eventuell weniger sehen, was uns gezeigt wird, als vielmehr, wie wir handeln. „Interface“ wäre dann keineswegs alleine das, was „zwischen das indexikalische Verhältnis von Daten und Display“¹⁰ geschoben wurde. Und auch ein künstlerisches Experiment zu Computerspielen, die sich selbst spielen und denen dabei mitunter (wie im Beispiel von „Wishi-Washi“) jegliche Sichtbarkeit verloren geht, deutet an, dass Sichtbarkeit und Kommensurabilität vielleicht mehr sind, als symbolische Darstellungen und Unterwerfung unter den Takt der Maschine. Die Naturalisierung des Arbeitsgeräts Computer und die Normalisierung seiner Nutzer könnte sich schon vor der Wahrnehmung von und dem Handeln in Modellwelten vollziehen, und ein „prekäres Ver-

4 von Foerster, *KybernEthik*, S. 99.

5 Merleau-Ponty, *Die Struktur des Verhaltens*, S. 14.

6 Hutchins, »Enaction, Imagination, and Insight«, S. 429.

7 Krämer, *Symbolische Maschinen*, S. 183.

8 Newell und Simon, »Computer science as empirical inquiry: symbols and search«, S. 116.

9 Hoffmann, »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«, S. 336.

10 Pias, »Computer Spiel Welten«, S. 51, Hervorhebung im Original.

hältnis wechselseitiger Kontrolle“¹¹ die Voraussetzung ihrer Existenz selbst sein. Von welchen Welten beim Interagieren die Rede ist, kristallisiert sich damit als zentrale Frage dieser Arbeit heraus.

Ein vertiefender Blick in die Forschung zum Zusammenhang von Handeln und Wahrnehmen offenbart schließlich Action Capture als empirischen Befund einer systematischen Beeinflussung dessen, was wir wahrnehmen durch das, was wir tun. Die Forschung zu Action Capture zeigt, dass dieser Effekt von Erwartungen und Training abhängt. Der Einfluss der eigenen Handlungen auf die Wahrnehmung ist also einer, der mit den Erwartungen über unsere eigene Wirksamkeit variiert. Action Capture ist ein Gestaltphänomen, das sich nicht ausschließlich in der Reizgrundlage begründet, sondern in der gesamten *action*, die Planung, Handeln und Wahrnehmen umfasst. Darüber hinaus zeigt die Forschung zur *S-R compatibility*, dass die Erwartungen über die Folgen einer Handlung die Wahrnehmung dieser Folgen beeinflussen, wobei Relokalisierungen stattfinden, nach denen das, was wir tun dort stattzufinden scheint, wo es seine Wirkung entfaltet.

Auf Grund der Experimentalsysteme der empirischen Psychologie unserer Zeit untersucht die Forschung zu Action Capture den Effekt meist als ein Inter-Action Capture. Und auch im Umgang mit Maus und Bildschirm zeigt sich der Effekt. Mehr noch: Ein Experiment zeigt, dass Interaktion genau dann stärkere *Capture*-Effekte zur Folge hat, wenn sich In- und Output im kybernetischen Sinne „ähnlicher“ sind – womit die Wahrnehmung mit diesen Ähnlichkeiten zu „rechnen“ scheint. Die Intuition der Informatik, nach der Interaktivität nicht nur Kriterium, sondern immer auch Kontinuum mehr oder weniger interaktiver Systeme sein könnte, erfährt hier eine einfache empirische Bestätigung: Interaktiver ist, was Wahrnehmen und Handeln enger zusammentreten lässt und das ist – in Übereinstimmung mit der Forschung zur *S-R compatibility* – abhängig von der Ähnlichkeit zwischen den Erwartungen, die eine Handlung evoziert, und ihren tatsächlichen Folgen. Hiermit bestätigt sich, was der Diskurs um das atavistische „concrete thinking“ direkter Interaktion mit der Diskussion von „indirection“ oder einem „embodiment“ zwischen „full“ und „distant“ bereits angekündigt hat¹²: Die Nähe, Direktheit oder Verkörperung von Interaktion scheint in erster Linie die raum-zeitliche Nähe und subjektive „Ähnlichkeit“ von In- und Output zu betreffen. Sie ist weniger Frage der Ähnlichkeit oder Distanz zwischen mentaler Problem- oder Modellwelt und physischer Realität, sondern „between the physical actions of the users on the instrument and the response of the object.“¹³ Da diese Ähnlichkeit aber Produkt der Er-

11 Cramer, *Exe.cut(up)able statements. Poetische Kalküle und Phantasmen des selbstaushührenden Texts*, S. 242.

12 Vergleiche 5.4.2.

13 Beaudouin-Lafon, »Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces«, S. 450.

fahrung der eigenen Wirksamkeit ist, scheint die Frage, von welchen Welten beim Interagieren die Rede ist, so zur Frage der Rolle unserer Handlungen für die Existenz dieser Welten zu werden, die sich im Wechselspiel von „appearance“ und „action“¹⁴ ausdifferenzieren.

Ein Exkurs in die Auseinandersetzung mit der Wahrnehmung von Räumlichkeit unterzieht diese Frage nach der Welterzeugung mit einem physiologischen Fundament. Hier zeigt sich, dass das „Rechnen“ der Wahrnehmung mit dem, was wir tun, notwendige Bedingung für die Existenz unseres Raumbegriffs ist. Zur Hochzeit der Kybernetik formuliert das Reafferenzprinzip schließlich einen regelungstechnischen Formalismus, durch den Action Capture als Effekt der Efferenzkopie verstehbar wird, die motorische Efferenzen begleitet und mit ihren sensorischen Reafferenzen verrechnet wird. Die Efferenzkopie ist dabei Grundlage einer Vorhersage über die Wirkungen einer Handlung, die die Physiologie „forward model“¹⁵ nennt und die der Diskurs um „sensory substitution“ auch als „linkage“¹⁶ von eigener Handlung und Reaktion der Umwelt bezeichnet. Der Vergleich von Efferenzkopie und Reafferenz erweist sich dabei als die Grundlage der Raumwahrnehmung, die bereits von Poincaré gefordert wurde, und Räumlichkeit wird zum kybernetischen Problem.

Diese Erkenntnis hört nicht mit der Frage nach Räumlichkeit auf. Verschiedene Vertreter einer in diesem Sinne „kybernetischen“ Psychologie argumentieren, dass nicht nur Raum, sondern auch die Objekte darin nichts anderes sind als stabile rekurrente Muster unseres Umgangs mit ihnen. Diese Idee wird von Phänomenologen wie Merleau-Ponty und Vertretern einer Kybernetik zweiter Ordnung wie von Foerster oder Varela früh vertreten, findet aber auch in der zeitgenössischen Kognitionswissenschaft ihren Widerhall, wo sie als Enactivism oder Enaction bezeichnet wird, wobei die rekurrenten Muster als (In-)Varianzen des Verhaltens oder sensomotorische Kontingenzen auftauchen. Eine Studie Hutchins zur körperlichen Verankerung von Zeichen und „Berechnungen“ in der Navigation zeigt dies genauso wie eine Studie von Svanæs, nach der die Gegenstände der Interaktion sich als „Interaction Gestalts“¹⁷ erst aus dieser Interaktion ergeben. Ein wichtiger Bezugspunkt dieser Argumentation ist die Arbeit Piagets, der in einer Studie zu der „Äquilibration der kognitiven Strukturen“¹⁸ auf den Punkt bringt, wie die Assimilation der Umwelt an die Schemata des Subjekts und die Akkomodation der Schemata an diese Umwelt auf ein rekursives Abhängigkeitsverhält-

14 Djajadiningrat u. a., »Tangible products: redressing the balance between appearance and action«.

15 Blakemore, Frith und Wolpert, »Spatio-Temporal Prediction Modulates the Perception of Self-Produced Stimuli«, S. 551.

16 Loomis, »Distal Attribution and Presence«, S. 116.

17 Svanæs, »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.«, S. 218.

18 Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*.

nis hinauslaufen, nach dem gilt: „das Objekt ist notwendig für den Ablauf der Aktion, und umgekehrt verleiht das Assimilationsschema dem Objekt seine Bedeutung.“¹⁹ Unter der Prämisse des Selbsterhalts des Ganzen formt der Zyklus der Interaktion so, was als Gegenstände der Behandlung und Handlungen des Subjekts existiert. Diese Argumentation wird später durch von Foerster radikalisiert, wobei er zeigt, dass für ein konsequent kybernetisches Denken Gegenstände grundsätzlich als Eigenwerte der zyklischen Abhängigkeit von Handlung und Wahrnehmung angesehen werden können.

10.2 FAZIT

In der atavistischen Rück-Kopplung von Mensch und Rechner, auf die die Konfiguration der Feedbackmaschine hinausläuft, gibt es also nicht nur die menschliche Interpretation symbolischer Darstellungen und das darauf folgende Handeln in der (mit Krämer gesprochen) symbolischen Realität dieser Darstellungen, sondern immer auch die Erzeugung dieser Darstellungen durch unsere Handlungen – womit die Erzeugung von Symbolen und deren Interpretation untrennbar miteinander verwoben werden und die Gestalt dessen, mit dem interagiert wird, immer auch Produkt des Interagierens ist. Der „pragmatische Zusammenhang“²⁰ im Herzen der Interpretation symbolischer Zeichen ist also tatsächlich bereits an ihrer Wahrnehmung beteiligt – und nicht von ihr zu trennen.

Dem Rechnen symbolischer Maschinen liegt, wie gesehen, eine Abstraktion zu Grunde, auf die am Interface eine Konkretion folgen muss, welche die Ergebnisse des Rechnens wahrnehmbar werden lässt. Die hier angeführten Überlegungen machen aber deutlich, dass diese Rekontextualisierung die Rechenergebnisse nicht nur mit den „Strukturen der Maschine“²¹ anreichert. Zusätzlich schreiben sich unsere konkreten physischen Handlungen an einer Feedbackmaschine genau so in das ein, was wir hier wahrnehmen, wie deren Kontext, einschließlich unserer Intentionalität. Im interaktiven Umgang mit algorithmischen Zeichen sind die Repräsentamen der Interaktion also nicht auf ihr physisches Substrat oder die Reizgrundlage reduzierbar. Sie sind nicht nur Resultat von Programm, Berechnung und Konkretion, sondern werden aktiv von den Handlungen mitgeformt, die sie als Teil kulturell orchestrierter Handlungszusammenhänge voraussetzen. Die Quasi-Indexikalität, die zum Beispiel *Pong* herstellt, entpuppt sich so als zu erlernende *linkage* von physischer Handlung, dem Rechnen der Maschine und dessen permanenter Konkretion. Dank ihr treten die Objekte der Interaktion erst hervor, wenn sie aktiv untersucht und benutzt werden. Das Erlernen der *linkage* dient also

19 Piaget, *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*, S. 16.

20 Nake, »Das algorithmische Zeichen«, S. 739.

21 Trogemann, »Code und Material«, S. 20.

nicht nur (wie in Normans „Cognitive Engineering“²²) der Extraktion eines intendierten Modells aus dem „System Image“ genannten Abbild des Systems, sondern vielmehr auch immer dem Entstehen des Bildes selbst.

Eine Physiologie im Sinne des Reafferenzprinzips kehrt die klassische Reflextheorie um und fragt „was geschieht im ZNS mit der von dieser Efferenz über die Effektoren und Rezeptoren verursachten Afferenz, die wir die »Reafferenz« nennen wollen?“²³ Interaktion wird hier einer ähnlichen Umkehrung unterzogen. Schnittstellen werden so zu „reafferenten“ Effekten ihrer Behandlung – die zwar nie von den „objektiven“ Eigenschaften dessen, was behandelt wird, unabhängig sind, sich aber auch nicht in diesen erschöpfen. Interaktion erfährt damit ein physiologisches *grounding*. Die Bewegung eines kleinen Kästchens auf einem Tisch und die scheinbare Bewegung symbolischer Darstellungen auf einem Bildschirm werden im engen Zusammenspiel von *appearance* und *action* eins. Die Fensterscheibe in „Wishi-Washi“ wird nicht nur als eine solche gesehen, sondern auch wie eine solche behandelt und erst deshalb als eine solche gesehen, wie eine solche behandelt, gesehen, behandelt *ad infinitum* – in einer Schleife zirkulärer Kausalität, die eben kein *circulus vitiosus* ist. Wenn wir es in der Interaktion mit Modellwelten oder virtuellen Realitäten zu tun haben, dann also nur, weil wir sie durch unser Handeln permanent modellieren und realisieren.

Wenn Laurel also festhält, Direct Manipulation bestehe in einem „enactment“, nach dem gilt, ein Interface „is literally co-created by its human user every time it is used“²⁴, dann lässt sich das nicht nur im Sinne Laurels Poetologie der Interaktion lesen. Ganz wörtlich verstanden formuliert Laurel hier früh die Antwort eines Enactivism auf die Frage nach den Welten der Interaktion – eine Antwort, die sich im Licht dieser Arbeit auch als naiv kybernetische Antwort verstehen lässt, die diese Welten letztlich zum Produkt eines Vergleichs von Ist und Soll und dem Wirksamwerden ihrer Differenz erklärt: Virtuelle Welten erhalten nicht nur ihre Räumlichkeit aus dem „Studium der Gesetze“²⁵ des Zusammenhangs von Handeln und Wahrnehmen. Auch ihre Objekte sind Symbole für (Eigen-)Verhalten und nicht nur, was als Konkretion des unsichtbaren digitalen Rechnens gestaltet und programmiert wurde, um dann als solche auch wahrgenommen zu werden und als Grundlage eines regelgeleiteten Problemlösens zu fungieren.

Die Konkretion des Rechnens durch symbolische Darstellungen ist also tatsächlich immer Interaction Gestalt und als Ganzes nicht auf die Reizgrundlage reduzierbar. Sie formt unser Verhalten im Sinne ei-

22 Norman, »Cognitive Engineering«.

23 von Holst und Mittelstaedt, »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.)«, S. 464.

24 Laurel, »Interface as mimesis«, S. 73.

25 Poincaré, *Wissenschaft und Hypothese*, S. 59.

ner Konditionierung, wird aber zugleich von ihm geformt. Wie jedes intelligente Verhalten oszilliert auch Interaktion damit zwischen Akkomodation und Assimilation, der ludischen Unterwerfung unter die Maschine und ihrer Einverleibung im Sinne von *paidia*. Die Handlung an Schnittstellen besteht in der permanenten Anpassung an Welten, die wir selbst erzeugen.

Ob bewusst oder nicht: Die Gestaltung von Schnittstellen ist aus diesen Gründen immer die Gestaltung von Interaktion als Ganzes, die – ganz im Sinne etwa der partizipativ oder systemisch denkenden skandinavischen Traditionen – auch ihre Gebrauchskontexte und Nutzer (als tatsächliche „new humans“²⁶) mitgestaltet und die dank Kontextverschiebungen und unvorhersehbarer (Um-)Nutzung trotzdem die Gestalt dessen, was gestaltet wird, nie völlig unter Kontrolle hat.

Es ist gerade das kybernetische Kontrollparadigma im Herzen der Feedbackmaschine, das durch die zirkuläre Kausalität, die es mit sich bringt, sowohl unsere Unterwerfung und Konditionierung unter die „inhuman factors“²⁷ maschinisierter Kopfarbeit verursacht, wie auch das Gegenteil dessen: die Möglichkeit zur (Um-)Gestaltung von Schnittstellen im reinen Gebrauch. Denn erstens impliziert die Herstellung von Stabilität durch Feedback immer auch die Möglichkeit der Instabilität und der Computer als Feedbackmaschine ist, was alle Servomechanismen sind: „a control system of a type which can become unstable.“²⁸ Zweitens und vor allem hängt die Steuerung in der zirkulären Verschaltung von Mensch und Rechner von beiden Seiten ab. Auch und gerade, wenn die menschlichen Benutzer von Schnittstellen als kybernetische Agenten und damit „more or less like a robot“²⁹ betrachtet werden, gilt dennoch: „the cognitive agent plays a role in determining the norms that it will follow, the »game« that is being played.“³⁰ Im Lichte dieser Untersuchung zu Kybernetik und Interaktion ist Interaktion ganz grundsätzlich ein „enacting the interface“.

26 Card und Moran, »User Technology: From Pointing to Pondering«, S. 183.

27 Dunne, *Hertzian tales. Electronic products, aesthetic experience, and critical design*, S. 21.

28 Macmillan, *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*, S. 7.

29 Hazen zitiert nach Mindell, *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*, S. 284.

30 Di Paolo, Rohde und Jaegher, »Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play«, S. 39.

LITERATUR

- Adler, Sabine. *CHAOS. Komplexität in Kunst und Wissenschaft*. Ausstellungskatalog. München, 2012.
- Agnoli, Paolo und Giulio D'Agostini. *Why does the meter beat the second?* Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2005. URL: <http://arxiv.org/abs/physics/0412078>.
- Andersen, Peter Bøgh. *A Theory of Computer Semiotics: Semiotic Approaches to Construction and Assessment of Computer Systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- Andersen, R. A. und D. C. Bradley. »Perception of three-dimensional structure from motion«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 2 (1998), S. 223–228.
- Andrews, Gregory. *Foundations of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming*. Redding, MA: Addison–Wesley, 2000.
- Anstis, Stuart M. und Vilayanur S. Ramachandran. »Visual Inertia in Apparent Motion«. In: *Vision Research* 27.5 (1987), S. 755–764.
- Ascott, Roy. »Behaviourist Art and the Cybernetic Vision«. In: *The New Media Reader*. Hrsg. von Noah Wardrip-Fruin und Nick Montfort. New York, NY und London: W. W. Norton & Company, 2001 [1967], S. 95–103.
- Aumann, Philipp. *Mode und Methode. Die Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland*. Göttingen: Wallstein Verlag, 2009.
- Auvray, Malika u. a. »There is something out there: Distal attribution in sensory substitution, twenty years later«. In: *Journal of Integrative Neuroscience* 4.4 (2005), S. 515–521.
- Babbage, Charles. *On the Economy of Machinery and Manufactures*. London: Charles Knight, 1832.
- Babich, Babette E. »From Fleck's Denkstil to Kuhn's paradigm: Conceptual schemes and incommensurability«. In: *International Studies in the Philosophy of Science* 17.1 (2003), S. 75–92.
- Bach-y-Rita, Paul und Stephen W. Kercel. »Sensory substitution and the human-machine interface«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 17.12 (2003), S. 541–546.
- Bach-y-Rita, Paul u. a. »Vision Substitution by Tactile Image Projection«. In: *Nature* 221 (1969), S. 963–964.
- Baddeley, Alan. »The magical number seven: Still magic after all these years?«. In: *Psychological Review* 101.2 (1994), S. 353–356.
- Baecker, Ronald M. und William A. S. Buxton, Hrsg. *Readings in human-computer interaction: a multidisciplinary approach*. San Mateo, CA: Morgan Kaufman, 1987.
- Baer, Ralph H. »Television Gaming and Training Apparatus«. 1973.

- Baer, Ralph H. *Videogame History: Getting things straight*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2007. URL: http://www.pong-story.com/RHB_getting_things_straight.pdf.
- Bammé, Arno u. a. *Maschinen-Menschen, Mensch-Maschinen. Grundrisse sozialer Beziehungen*. Reinbek: Rowohlt, 1983.
- Barton, Matt und Bill Loguidice. »The History Of Pong: Avoid Missing Game to Start Industry«. In: *Gamasutra* (2009). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: http://www.gamasutra.com/view/feature/3900/the_history_of_pong_avoid_missing_.php.
- Beaudouin-Lafon, Michel. »Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces«. In: *Proceedings of CHI*. 2000, S. 446–453.
- Becker, Rainer C. *Black Box Computer. Zur Wissensgeschichte einer universellen kybernetischen Maschine*. Bielefeld: transcript, 2012.
- Beckermann, Ansgar. *Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes*. Berlin und New York, NY: Walter de Gruyter, 1999.
- Belevitch, Vitold. »Summary of the History of Circuit Theory«. In: *Proceedings of the IRE* 50.5 (1962), S. 848–855.
- Bennett, Stuart. »A brief history of automatic control«. In: *IEEE Control Systems* 16.3 (1996), S. 17–25.
- *A History of Control Engineering 1930-1955*. Hitchin: Peter Peregrinus Ltd., 1993.
- Bernstein, Lori J. und Lynn A. Cooper. »Direction of motion influences perceptual identification of ambiguous figures«. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 23.3 (1997), S. 721–737.
- Blakemore, Sarah-Jayne, Chris D. Frith und Daniel M. Wolpert. »Spatio-Temporal Prediction Modulates the Perception of Self-Produced Stimuli«. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 11.5 (1999), S. 551–559.
- Blakemore, Sarah-Jayne, Daniel M. Wolpert und Chris D. Frith. »Central cancellation of self-produced tickle sensation«. In: *Nature Neuroscience* 1.7 (1998), S. 635–640.
- »Why can't you tickle yourself?«. In: *Neuroreport* 11.3 (2000), R11–R16.
- Bødker, Susanne. »Through the Interface – a human activity approach to user interfaces«. Diss. Aarhus: Aarhus University, 1987.
- Borman, Lorraine. »SIGCHI: the early years«. In: *ACM SIGCHI Bulletin* 28.1 (1996), S. 4–6.
- Bromley, Allan G. »Analog Computing Devices«. In: *Computing Before Computers*. Hrsg. von William Aspray. Ames: Iowa State University Press, 1990, S. 156–199.
- »Charles Babbage's Analytical Engine«. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 20.4 (1998), S. 29/45.

- Bub, Andrew. *The Original GamerDad: Ralph Baer. Interview by Steve Fulton*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2005. URL: <http://pongmuseum.com/history/baer-originalgamedad.php>.
- Buchanan, Levi. »Odyssey: 35 Years Later«. In: *Imagine Games Network (IGN)* (2007). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: <http://www.ign.com/articles/2007/05/04/odyssey-35-years-later-2>.
- Buschauer, Regine. *Mobile Räume. Medien- und diskursgeschichtliche Studien zur Tele-Kommunikation*. Bielefeld: transcript, 2010.
- Bush, Vannevar. »As we may think«. In: *The Atlantic* (1945), S. 112–124.
- Cailliois, Roger. *Man, Play and Games*. Urbana und Chicago: University of Illinois Press, 2001 [1958].
- Cannon, Walter Bradford. *The Wisdom of the Body*. New York: W.W. Norton & Company, 1932.
- Capshew, James H. »Engineering Behavior: Project Pigeon, World War II, and the Conditioning of B. F. Skinner«. In: *Technology and Culture* 34.4 (1993), S. 835–857.
- Card, Stuart K., William K. English und Betty J. Burr. »Evaluation of Mouse, Rare-Controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection on a CRT«. In: *Ergonomics* 21.8 (1978), S. 601–613.
- Card, Stuart K. und Thomas P. Moran. »User Technology: From Pointing to Pondering«. In: *Proceedings of the ACM Conference on The history of personal workstations*. 1986, S. 183–198.
- Card, Stuart K., Thomas P. Moran und Allen Newell. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ und London: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- Carter, Olivia u. a. »Tactile Rivalry Demonstrated with an Ambiguous Apparent-Motion Quartet«. In: *Current Biology* 18 (2008), S. 1050–1054.
- Cavanagh, Patrick. »Attention-based motion perception«. In: *Science* 257.5076 (1992), S. 1563–1565.
- Chapman, Robert L. u. a. »The Systems Research Laboratory's Air Defense Experiments«. In: *Management Science* 5.3 (1959), S. 250–269.
- Chomsky, Noam. »Three models for the description of language«. In: *IRE Transactions on Information Theory* 2.3 (1956), S. 113–124.
- Churchman, Charles West. *Operations research: eine Einführung in die Unternehmensforschung*. München: Oldenbourg Verlag, 1971.
- Clark, Andy. *Being there. Putting Brain, Body, and World together again*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- »Re-Inventing Ourselves: The Plasticity of Embodiment, Sensing, and Mind«. In: *Journal of Medicine and Philosophy* 32 (2007), S. 263–282.

- Cohen, Jacob u. a. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. 3. Aufl. Mahwah, NJ und London: Lawrence Erlbaum Associates, 2003.
- Conway, Flo und Jim Siegelman. *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*. New York, NY: Basic Books, 2006.
- Cope, Thomas D. und H. W. Robinson. »Charles Mason, Jeremiah Dixon and the Royal Society«. In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 9.1 (1951), S. 55–78.
- Coy, Wolfgang. »Nachwort: Ein post-rationalistischer Entwurf«. In: *Erkenntnis – Maschinen – Verstehen*. Hrsg. von Terry Winograd und Fernando Flores. Berlin: Rotbuch Verlag, 1989, S. 296–314.
- »Zum Streit der Fakultäten. Kybernetik und Informatik als wissenschaftliche Disziplinen«. In: *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume II*. Hrsg. von Claus Pias. Bd. 2. Berlin: diaphanes, 2004.
- Craik, Kenneth. »Theory of the human operator in control systems. I. The operator as an engineering system«. In: *British Journal of Psychology* 38 (1947), S. 56–61.
- Cramer, Florian. *Exe.cut(up)able statements. Poetische Kalküle und Phantasmen des selbstausführenden Texts*. München: Wilhelm Fink Verlag, 2011.
- Croarken, Mary. »Astronomical Labourers: Maskelyne's Assistants at the Royal Observatory, Greenwich, 1765-1811«. In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 57.3 (2003), S. 258–298.
- Culham, Jody C. und Patrick Cavanagh. »Motion capture of luminance stimuli by equiluminous color gratings and by attentive tracking.« In: *Vision Research* 34.20 (1994), S. 2701–2706.
- Daniels, Dieter. *Strategien der Interaktivität*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2000. URL: http://www.hgb-leipzig.de/daniels/vom-readymade-zum-cyberspace/strategien_der_interaktivitaet.html.
- Deleuze, Gilles. »Postskriptum über die Kontrollgesellschaften«. In: *L'autre Journal* 1 (1990).
- Deroy, Ophelia und Malika Auvray. »Reading the world through the skin and ears: a new perspective on sensory substitution«. In: *Frontiers in Psychology* 3.457 (2012).
- Deutsch, Diana. »A Musical Paradox«. In: *Music Perception* 3.3 (1986), S. 275–280.
- Di Paolo, Ezequiel A., Marieke Rohde und Hanne De Jaegher. »Horizons for the Enactive Mind: Values, Social Interaction, and Play«. In: *Enaction: Towards a New Paradigm for Cognitive Science*. Hrsg. von John Robert Stewart, Olivier Gapenne und Ezequiel A. Di Paolo. Cambridge, MA: MIT Press, 2010, S. 33–88.

- Dinkla, Söke. »The History of the Interface in Interactive Art«. In: *Proceedings of ISEA*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 1994. URL: http://www.kenfeingold.com/dinkla_history.html.
- Dix, Alan. »Hands Across the Screen – why scrollbars are on the right and other stories«. In: *Interfaces* 37 (1998), S. 19–22.
- Djajadiningrat, Tom u. a. »Tangible products: redressing the balance between appearance and action«. In: *Personal and Ubiquitous Computing* 8.5 (2004), S. 294–309.
- Dourish, Paul. *Where the action is. The foundations of embodied interaction*. MIT Press, 2001.
- Doutrich, Paul. »Cresap's War: Expansion and Conflict in the Susquehanna Valley«. In: *Pennsylvania History* 53.2 (1986), S. 89–104.
- Dreyfus, Hubert L. *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*. New York, NY: Harper und Row, 1972.
- Dunne, Anthony. *Hertzian tales. Electronic products, aesthetic experience, and critical design*. Cambridge, MA: MIT Press, 2008 [2005].
- Dünne, Jörg und Stephan Günzel, Hrsg. *Raumtheorie*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2006.
- Dupuy, Jean-Pierre. *The Mechanization of the Mind. On the Origins of Cognitive Science*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.
- Eagleman, David M. »Visual illusions and neurobiology«. In: *Nature Reviews Neuroscience* 2 (2001), S. 920–926.
- Eco, Umberto. *Einführung in die Semiotik*. München: Wilhelm Fink Verlag, 1972 [1968].
- Edwards, Paul N. *The Closed World. Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.
- Engelbart, Douglas C. *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Techn. Ber. Stanford, CA: Stanford Research Institute, 1962.
- English, William K., Douglas C. Engelbart und Melvyn L. Berman. »Display-Selection Techniques for Text Manipulation«. In: *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics* 8.1 (1967), S. 5–15.
- Ernst, Marc O. und Heinrich H. Bülthoff. »Merging the senses into a robust percept«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 8.4 (2004), S. 162–169.
- Ernst, Wolfgang. *Jenseits des Archivs: Bit Mapping*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2004. URL: http://www.medienkunstnetz.de/themen/mapping_und_text/jenseits-des-archivs.
- Everett, Robert. »The Whirlwind I computer«. In: *AIEE-IRE '51*. 1951, S. 70–74.
- »Whirlwind«. In: *A History of Computing in the Twentieth Century*. Hrsg. von J. Howlett, Gian Carlo Rota und Nicholas Metropolis. Orlando: Academic Press, 1980.
- Exner, Sigmund. »Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse: Erste Abhandlung«. In: *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere* 7 (1873), S. 601–660.

- Exner, Sigmund. »Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse: III. Abhandlung«. In: *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Thiere* 11 (1875), S. 403–432.
- Farrington, Jeanne. »From the Research: Myths Worth Dispelling – Seven Plus or Minus Two«. In: *Performance Improvement Quarterly* 23.4 (2011), S. 113–116.
- Fisher, Nick und Johannes M. Zanker. »The directional tuning of the barber-pole illusion«. In: *Perception* 30 (2001), S. 1321–1336.
- Fishkin, Kenneth P. »A taxonomy for and analysis of tangible interfaces«. In: *Personal and Ubiquitous Computing* 8 (2004), S. 347–358.
- Fishkin, Kenneth P. u. a. »Embodied user interfaces for really direct manipulation«. In: *Communications of the ACM* 43.9 (2000), S. 74–80.
- Fitts, Paul M. »The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement«. In: *Journal of Experimental Psychology: General* 121.3 (1992 [1954]), S. 262–269.
- Fitts, Paul M. und Charles M. Seeger. »S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes«. In: *Journal of Experimental Psychology* 46.3 (1953), S. 199–210.
- Fitts, Paul M. u. a. »Some Concepts and Methods for the Conduct of System Research in a Laboratory Setting«. In: *Symposium on Air Force Human Engineering, Personnel and Training Research*. Hrsg. von Glen Finch und Frank Cameron. Washington D.C.: National Academy of Sciences – National Research Council, 1958, S. 174–187.
- Fitzmaurice, George W., Hiroshi Ishii und William Buxton. »Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces«. In: *Proceedings of CHI*. 1995, S. 442–449.
- Fleck, Ludwik. »Das Problem einer Theorie des Erkennens«. In: *Erfahrung und Tatsache*. Hrsg. von Lothar Schäfer und Thomas Schnelle. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1983 [1939], S. 84–127.
- Forrester, Jay W. *Statement of Status of Project Whirlwind Prepared for the Research and Development Board*. Techn. Ber. MIT Servomechanisms Laboratory, 1950.
- Foucault, Michel. »Das Spiel des Michel Foucault«. In: *Dits et Ecrits. Schriften*. Hrsg. von Daniel Defert und François Ewald. Bd. 3. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2003.
- Friedewald, Michael. *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*. Berlin und Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1999.
- »Konzepte der Mensch-Computer-Kommunikation in den 1960er Jahren: J. C. R. Licklider, Douglas Engelbart und der Computer als Intelligenzverstärker«. In: *Technikgeschichte* 67 (2000), S. 1–24.
- Fries, Urs, Lasse Scherffig und Stefanie Stallschus. »How to understand... Seam Carving«. In: *Off Topic* 0 (2008), S. 94–97.
- Friston, Karl J., Jean Daunizeau und Stefan J. Kiebel. »Reinforcement Learning or Active Inference?«. In: *PLOS ONE* 4.7 (2009), S. 1–13.

- Friston, Karl J., Christopher Thornton und Andy Clark. »Free-Energy Minimization and the Dark-Room Problem«. In: *Frontiers in Psychology* 3 (2012), S. 1–7.
- Friston, Karl J. u. a. »Action and behavior: a free-energy formulation«. In: *Biological Cybernetics* 102.3 (2010), S. 227–260.
- Froese, Tom. »From adaptive behavior to human cognition: a review of Enaction«. In: *Adaptive Behavior* 20.3 (2012), S. 209–221.
- »From Cybernetics to Second-Order Cybernetics?: A Comparative Analysis of Their Central Ideas«. In: *Constructivist Foundations* 5.2 (2010), S. 75–85.
- »From Second-order Cybernetics to Enactive Cognitive Science: Varela's Turn From Epistemology to Phenomenology«. In: *Systems Research and Behavioral Science* 28.6 (2011), S. 631–645.
- Frohlich, David M. »The history and future of direct manipulation«. In: *Behaviour & Information Technology* 12.6 (1993), S. 315–329.
- Galison, Peter. »Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik«. In: *Räume des Wissens: Repräsentation, Codierung, Spur*. Hrsg. von Hans-Jörg Rheinberger, Michael Hagner und Bettina Währig-Schmidt. Berlin: Akademie Verlag, 1997.
- *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1997.
- Gardner, Howard. *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*. New York, NY: Basic Books, 1985.
- Goertz, Lutz. »Wie interaktiv sind Medien?«. In: *Interaktivität. Ein transdisziplinärer Schlüsselbegriff*. Frankfurt und New York, NY: Campus Verlag, 2004, S. 97–117.
- Goldin, Dina und Peter Wegner. »Principles of Interactive Computation«. In: *Interactive Computation: The New Paradigm*. Hrsg. von Dina Goldin, Scott A. Smolka und Peter Wegner. Berlin und Heidelberg: Springer, 2006, S. 25–37.
- Gross, Charles E. »Claude Bernard and the internal environment«. In: *The Neuroscientist* (1998), S. 380–385.
- Grudin, Jonathan. »Three Faces of Human-Computer Interaction«. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 27.4 (2005), S. 46–62.
- »Turing Maturing: The Separation of Artificial Intelligence and Human-Computer Interaction«. In: *interactions* 13.5 (2006), S. 54–57.
- Grüsser, Otto-Joachim. »On the history of the ideas of efference copy and reafference«. In: *Essays in the History of the Physiological Sciences: Proceedings of a Symposium of the European Association for the History of Medicine and Health Held at the University Louis Pasteur, Strasbourg, on March 26-27th, 1993*. Hrsg. von Claude Debru. Amsterdam: Rodopi, 1994, S. 35–56.
- Guilford, Joy P. »Illusory Movement from a Rotating Barber Pole«. In: *The American Journal of Psychology* 41.4 (1929), S. 686–687.

- Hagen, Wolfgang. »Der Stil der Sourcen«. In: *HyperKult. Geschichte, Theorie und Kontext digitaler Medien*. Basel und Frankfurt a.M.: Stroemfeld, 1997.
- Hansen, Jonas u. a., Hrsg. *Computerspielen. Perspectives of Play*. Köln: Verlag der Kunsthochschule für Medien Köln, 2014.
- Harman, Karin L., G. Keith Humphrey und Melvyn A. Goodale. »Active manual control of object views facilitates visual recognition«. In: *Current Biology* 9 (1999), S. 1315–1318.
- Harrison, Steve, Deborah Tatar und Phoebe Sengers. »The Three Paradigms of HCI«. In: *Proceedings of CHI*. 2007.
- Hartree, Douglas R. »The Eniac, an Electronic Computing Machine«. In: *Nature* 158 (1946), S. 500–506.
- Heinecke, Andreas M. *Mensch-Computer-Interaktion*. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig, 2004.
- Held, Richard und Alan Hein. »Movement-Produced Stimulation in the Development of Visually Guided Behavior«. In: *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 56.5 (1963), S. 872–876.
- Hellige, Hans Dieter. »Krisen- und Innovationsphasen in der Mensch-Computer-Interaktion«. In: *Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung*. Hrsg. von Hans Dieter Hellige. Bielefeld: transcript, 2008, S. 11–92.
- Helmholtz, Hermann von. *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Leopold Voss, 1867.
- Henn, Volker. »Materialien zur Vorgeschichte der Kybernetik«. In: *Studium generale. Zeitschrift für interdisziplinäre Studien* 22 (1969), S. 164–190.
- Hick, William E. »On the rate of gain of information«. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 4 (1952), S. 11–26.
- Hoffmann, Christoph. »Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation«. In: *British Journal for the History of Science* 40.3 (2007), S. 333–365.
- »φ-Phänomen Film. Der Kinematograph als Ereignis experimenteller Psychologie um 1900«. In: *Die Adresse des Mediums*. Hrsg. von Stefan Andriopoulos, Gabriele Schabacher und Eckhard Schumacher. Köln: DuMont, 2001, S. 236–252.
- Holden, Edward S. »The Personal Equation«. In: *Popular Science Monthly* 6 (1875), S. 385–398.
- Hommel, Bernhard und Wolfgang Prinz. »Theoretical issues in stimulus-response compatibility: Editors' introduction«. In: *Theoretical Issues in Stimulus-Response Compatibility*. Hrsg. von Bernhard Hommel und Wolfgang Prinz. Amsterdam: North-Holland, 1997, S. 3–8.
- Hommel, Bernhard u. a. »The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning«. In: *Behavioral and Brain Sciences* 24 (2001), S. 849–937.

- Hornecker, Eva. »Beyond affordance: tangibles' hybrid nature«. In: *TEI '12, Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*. ACM. New York, NY, 2012, S. 175–182.
- »Die Rückkehr des Sensorischen: Tangible Interfaces und Tangible Interaction«. In: *Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung*. Hrsg. von Hans Dieter Hellige. Bielefeld: transcript, 2008, S. 235–256.
- Huhtamo, Erkki. »From Cybernation to Interaction: A Contribution to an Archeology of Interactivity«. In: *The Digital Dialectic: New Essays on New Media*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000, S. 96–111.
- Hutchins, Edwin. *Cognition in the Wild*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995.
- »Enaction, Imagination, and Insight«. In: *Enaction: Towards a New Paradigm for Cognitive Science*. Hrsg. von John Robert Stewart, Olivier Gapenne und Ezequiel A. Di Paolo. Cambridge, MA: MIT Press, 2010, S. 425–450.
- »How a Cockpit Remembers Its Speeds«. In: *Cognitive Science* 19 (1995), S. 265–288.
- Hutchins, Edwin L., James D. Hollan und Donald A. Norman. »Direct Manipulation Interfaces«. In: *Human-Computer Interaction* 1 (1985), S. 311–338.
- Ishii, Hiroshi und Brygg Ullmer. »Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms«. In: *Proceedings of CHI*. 1997, S. 234–241.
- Ishimura, G. »Visuomotor factors for action capture«. In: *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Supplement)* 36 (1995), S. 357.
- Ishimura, G. und S. Shimojo. »Voluntary action captures visual motion«. In: *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Supplement)* 35 (1994), S. 1275.
- Jacob, Robert J. K. u. a. »Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces«. In: *Proceedings of CHI*. 2008, S. 201–210.
- James, Karin H., G. Keith Humphrey und Melvyn A. Goodale. »Manipulating and recognizing virtual objects: Where the action is«. In: *Canadian Journal of Experimental Psychology* 55 (2001), S. 111–122.
- Jensen, Jens F. »'Interactivity' Tracking a New Concept in Media and Communication Studies«. In: *Nordicom Review* 19 (1998), S. 185–204.
- Jones, Sir Harold Spencer. »The Measurement of Time«. In: *Reports on Progress in Physics* 4 (1937), S. 1–26.
- Kacunko, Slavko. *Closed Circuit Videoinstallationen*. Berlin: Logos Verlag, 2004.
- Kandel, Eric R., James H. Schwartz und Thomas M. Jessell. *Principles of Neural Science, Fourth Edition*. New York, NY: McGraw-Hill, 2000.
- Kaptelinin, Victor u. a. »Post-cognitivist HCI: second-wave theories«. In: *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '03. New York, NY: ACM, 2003, S. 692–693.

- Kent, Steven L. *Forgotten Fathers*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 1997. URL: <http://www.videotopia.com/edit2.htm>.
- Kintsch, Walter und John T. Cacioppo. »Introduction to the 100th anniversary issue of the Psychological Review«. In: *Psychological Review* 101.2 (1995), S. 195–199.
- Kittler, Friedrich. »Signal-Rausch-Abstand«. In: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig: Reclam, 1993 [1988], S. 161–181.
- Klaus, Georg und Heinz Liebscher. *Was ist, was soll Kybernetik?* 2. Aufl. Leipzig, Jena und Berlin: Urania-Verlag, 1967.
- Knuth, Donald. *The Art of Computer Programming, Volume 1: Fundamental Algorithms*. Redding, MA: Addison-Wesley, 1997.
- Krämer, Sybille. »'Operationsraum Schrift': Über einen Perspektivenwechsel in der Betrachtung der Schrift«. In: *Schrift. Kulturtechnik zwischen Auge, Hand und Maschine*. Hrsg. von Gernot Grube, Werner Kogge und Sybille Krämer. München: Fink, 2005, S. 23–61.
- *Symbolische Maschinen*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1988.
- Krauss, Rosalind. »Video: The Aesthetics of Narcissism«. In: *October* 1 (1976), S. 50–64.
- Kuhn, Sarah. »Design for People at Work«. In: *Bringing Design to Software*. Hrsg. von Terry Winograd. Redding, MA: Addison-Wesley, 1996, S. 273–289.
- Kuhn, Sarah und Terry Winograd. »Profile: Participatory Design«. In: *Bringing Design to Software*. Hrsg. von Terry Winograd. Redding, MA: Addison-Wesley, 1996, S. 290–294.
- Kuhn, Thomas S. *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1967 [1962].
- Kwastek, Katja. »The invention of interactive art«. In: *Artists as Inventors/Inventors as Artists*. Ostfildern: Hatje Cantz, 2008, S. 182–193.
- Lacerte, Sylvie. »9 Evenings and Experiments in Art and Technology: A Gap to Fill in Art History's Recent Chronicles«. In: *Artists as Inventors - Inventors as Artists*. Hrsg. von Dieter Daniels und Barbara U. Schmidt. Ostfildern: Hatje Cantz, 2008, S. 159–175.
- Lange, Andreas. *pong.mythos*. Berlin: Förderverein für Jugend und Sozialarbeit e.V., 2006.
- *Spielmaschinen. Ein Ausstellungskatalog*. Berlin: Verband der Unterhaltungssoftware Deutschlands e.V. und Förderverein für Jugend und Sozialarbeit e.V., 2002.
- Laurel, Brenda K. *Computers as Theatre*. Redding, MA: Addison-Wesley, 1993.
- »Interface as mimesis«. In: *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hrsg. von Donald A. Norman und Stephen Draper. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1986, S. 67–85.
- Lehmann, Annette Jael. *Kunst und Neue Medien: Ästhetische Paradigmen seit den sechziger Jahren*. Stuttgart: UTB, 2008.

- Leopold, David A. und Nikos K. Logothetis. »Multistable phenomena: changing views in perception«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 3.7 (1999), S. 254–264.
- Lettvin, Jerome Y. u. a. »What the frog's eye tells the frog's brain«. In: *The Mind: Biological Approaches to its Functions*. Hrsg. von William C. Corning und Martin Balaban. New York, NY: Interscience Publishers, 1968 [1959].
- Lewis, Frank. »Applied Optimal Control and Estimation; Digital Design and Implementation«. In: Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1992. Kap. A brief history of feedback control.
- Licklider, Joseph C. R. »Man-Computer Symbiosis«. In: *IRE Transactions on Human Factors in Electronics* 1.1 (1960), S. 4–11.
- »Some Reflections on Early History«. In: *A History of Personal Workstations*. Hrsg. von Adele Goldberg. New York, NY: ACM Press, 1988.
- Loomis, Jack M. »Distal Attribution and Presence«. In: *Presence* 1.1 (1992), S. 113–119.
- Luce, R. Duncan. »Whatever Happened to Information Theory in Psychology?«. In: *Review of General Psychology* 7.2 (2003), S. 183–188.
- Lunenfeld, Peter. *Snap to Grid: A User's Guide to Digital Arts, Media, and Cultures*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.
- Mach, Ernst. *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1902 [1886].
- *Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen*. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1875.
- MacKenzie, I. Scott. »A Note on the Information-Theoretic Basis for Fitts' Law«. In: *Journal of Motor Behavior* 21 (1989), S. 323–330.
- »Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction«. In: *Human-Computer Interaction* 7.1 (1992), S. 91–139.
- »Reflections on Card, English, and Burr«. In: *HCI Remixed: Essays on Works That Have Influenced the HCI Community*. Hrsg. von Thomas Erickson und David W. McDonald. Cambridge, MA: MIT Press, 2008, S. 289–292.
- Macmillan, Robert Hugh. *An introduction to the theory of control in mechanical engineering*. Cambridge: Cambridge University Press, 1951.
- Maloney, Laurence T. u. a. »Past trials influence perception of ambiguous motion quartets through pattern completion«. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102.8 (2005), S. 3164–3169.
- Manovich, Lev. *The Language of New Media*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.
- »Über die totalitäre Interaktivität«. In: *Telepolis* (1996). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: <http://www.heise.de/tp/artikel/2/2063/1.html>.

- Maturana, Humberto R. und Francisco J. Varela. *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. München: Goldmann, 1987 [1984].
- Maxfield, Francis N. »The Observer: An Instrument of Precision«. In: *The Ohio Journal of Science* 25.5 (1927), S. 205–218.
- McBeath, Michael K., Kazunori Morikawa und Mary K. Kaiser. »Perceptual Bias for Forward-Facing Motion«. In: *Psychological Science* 3.6 (1992), S. 362–367.
- McCaffery, Larry. »An Interview with William Gibson«. In: *Mississippi Review* 16 (1996). Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. URL: http://project.cyberpunk.ru/idb/gibson_interview.html.
- McCulloch, Warren S. »Recollections of the many Sources of Cybernetics«. In: *ASC Forum* 6 (1974), S. 5–16.
- McManus, Ian C. u. a. »Science in the Making: Right Hand, Left Hand. II: The duck-rabbit figure«. In: *Laterality* 15 (2010), S. 166–185.
- Merleau-Ponty, Maurice. *Die Struktur des Verhaltens*. Berlin und New York: de Gruyter, 1976 [1942].
- Meyer, David E. u. a. »Speed-accuracy tradeoffs in aimed movements: Toward a theory of rapid voluntary action«. In: *Attention and performance XIII*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1990, S. 173–262.
- Miller, George A. »The cognitive revolution: a historical perspective«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 7.3 (2003), S. 141–144.
- »The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information«. In: *Psychological Review* 101.2 (1994 [1956]), S. 343–352.
- Mindell, David A. *Between human and machine: feedback, control, and computing before cybernetics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2004.
- »Opening Black's Box: Rethinking Feedback's Myth of Origin«. In: *Technology and Culture* 41.3 (2000), S. 405–434.
- MIT. *Whirlwind I: A high-speed Electronic Digital Computer*. Promotional brochure. Cambridge, MA, 1951.
- Mittelstaedt, Horst. »Die Regelungstheorie als methodisches Werkzeug der Verhaltensanalyse«. In: *Naturwissenschaften* 48.8 (1961), S. 246–254.
- Mocigemba, Dennis. »Die Ideengeschichte der Computernutzung. Metaphern der Computernutzung und Qualitätssicherungsstrategien«. Diss. Technische Universität Berlin, 2003.
- Mollon, John D. und Adam Perkins. »Errors of judgement at Greenwich in 1796«. In: *Nature* 380 (1996), S. 101–102.
- Müggenburg, Jan. »Spannung, Spiel und Schwarzgerät. Zur Kulturtechnik des Unboxing«. In: *Off Topic* 4 (2013), S. 30–34.
- Müller, Johannes. *Handbuch der Physiologie des Menschen für Vorlesungen. Zweiter Band*. Koblenz: Verlag von J. Hölscher, 1840.

- Nairne, James S. »Remembering over the Short-Term: The Case Against the Standard Model«. In: *Annual Review of Psychology* 53 (2002), S. 53–81.
- Nake, Frieder. »Das algorithmische Zeichen«. In: *Informatik 2001: Wirtschaft und Wissenschaft in der Network Economy – Visionen und Wirklichkeit. Tagungsband der GI/OCG Jahrestagung*. Hrsg. von Kurt Bauknecht, Wilfried Brauer und Thomas A. Mück. Bd. 2. Wien: Universität Wien, 2001, S. 736–742.
- »Das algorithmische Zeichen und die Maschine«. In: *Perspektiven der Gestaltung von Arbeit und Technik*. Hrsg. von Erich Latniak und Hansjürgen Paul. München und Mering: Rainer Hampp Verlag, 2004, S. 203–223.
 - »Unvollendung. Eine Erinnerung an ein kybernetisches Modell des Kunstprozesses«. In: *Ordnung und Kontingenz. Das kybernetische Modell in den Künsten*. Hrsg. von Hans Esselborn. Würzburg: Königshausen & Neumann, 2009.
 - »Von der Interaktion. Über den instrumental und den medialen Charakter des Computers«. In: *Die erträgliche Leichtigkeit der Zeichen. Ästhetik, Semiotik, Informatik*. Hrsg. von Frieder Nake. Baden-Baden: agis, 1993, S. 165–190.
 - »Zeigen, Zeichnen und Zeichen. Der verschwundene Lichtgriffel«. In: *Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung*. Hrsg. von Hans Dieter Hellige. Bielefeld: transcript, 2008, S. 121–154.
- Nake, Frieder und Susanne Grabowski. »Human-computer interaction viewed as pseudo-communication«. In: *Knowledge Based Systems* 14.8 (2001), S. 441–447.
- Necker, L. A. »Observations on some remarkable optical phaenomena seen in Switzerland; and on an optical phaenomenon which occurs on viewing a figure of a crystal or geometical solid«. In: *London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science* 1 (1832), S. 329–337.
- Neumann, John von. *First Draft of a Report on the EDVAC*. Contract No. W-670-ORD-4926 Between the United States Army Ordnance Department and the University of Pennsylvania, Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania. 1945.
- Newell, Allen. »Information processing: a new technique for the behavioral sciences«. Diss. Pittsburgh, PA: Carnegie Institute of Technology, 1957.
- Newell, Allen, Cliff Shaw und Herbert A. Simon. »Report on a general problem-solving program«. In: *Proceedings of the International Conference on Information Processing*. 1959, S. 256–264.
- Newell, Allen und Herbert A. Simon. »Computer science as empirical inquiry: symbols and search«. In: *Communications of the ACM* 19.3 (1976), S. 113–126.

- Newell, Allen und Herbert A. Simon. »The logic theory machine – A complex information processing system«. In: *IRE Transactions on Information Theory* 2.3 (1956), S. 61–79.
- Nishijo, Hisao u. a. »The relationship between monkey hippocampus place-related neural activity and action in space«. In: *Neuroscience Letters* 226 (1997), S. 57–60.
- Noble, Douglas D. »Mental Materiel. The militarization of learning and intelligence in US education«. In: *Cyborg Worlds. The Military Information Society*. Hrsg. von Les Levidow und Kevin Robins. London: Free Association Books, 1989, S. 13–41.
- Nohr, Rolf F. »Rhythmusarbeit«. In: *Das Spiel mit dem Medium. Partizipation – Immersion – Interaktion*. Hrsg. von Britta Neitzel und Rolf F. Nohr. Marburg: Schüren Verlag, 2006, S. 223–243.
- Norman, Donald A. »Cognitive Engineering«. In: *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hrsg. von Donald A. Norman und Stephen Draper. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1986, S. 31–61.
- Oberliesen, Rolf. *Information, Daten und Signale: Geschichte technischer Informationsverarbeitung*. Reinbek: Rowohlt, 1982.
- O'Brien, Gerard und Jon Opie. »Representation in Analog Computation«. In: *Knowledge and Representation*. Hrsg. von Albert Newen, Andreas Bartels und Eva-Maria Jung. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2011, S. 109–128.
- »The role of representation in computation«. In: *Cognitive Processing* 10.1 (2008), S. 53–62.
- O'Keefe, J. und J. Dostrovsky. »The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat«. In: *Brain Research* 34.1 (1971), S. 171–175.
- O'Regan, J. Kevin und Alva Noë. »A sensorimotor account of vision and visual consciousness«. In: *Behavioral and brain sciences* 24 (2001), S. 939–1031.
- Peirce, Charles S. *Phänomen und Logik der Zeichen*. 4. Aufl. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1998.
- Peng, Chao-Ying Joanne, Kuk Lida Lee und Gary M. Ingersolla. »An Introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting«. In: *The Journal of Educational Research* 96.1 (2002), S. 3–14.
- Penrose, Roger. *Computerdenken: Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewusstsein und die Gesetze der Physik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1991.
- Piaget, Jean. *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag, 1976 [1975].
- *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1973 [1970].
- *Nachahmung, Spiel und Traum. Gesammelte Werke* 5. 3. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta, 1993 [1959].

- Pias, Claus. »Computer Spiel Welten«. Diss. Bauhaus-Universität Weimar, 2000.
- Hrsg. *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume I*. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2003.
 - Hrsg. *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume II*. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2004.
 - »Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse«. In: *HyperKult II: Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*. Hrsg. von Martin Warnke, Wolfgang Coy und Georg Christoph Tholen. Bielefeld: transcript, 2005, S. 313–339.
 - »Zeit der Kybernetik – Eine Einstimmung«. In: *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume II*. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2004, S. 9–41.
- Pickering, Andrew. *Kybernetik und neue Ontologien*. Berlin: Merve, 2007.
- Pierce, John R. »The early days of information theory«. In: *IEEE Transactions on Information Theory* 19.1 (1973), S. 3–8.
- Pinel, John P. J. *Biopsychology*. 4. Aufl. Boston, MA: Allyn und Bacon, 2000.
- Pinkus, Alan und Allan Pantle. »Probing Visual Motion Signals with a Priming Paradigm«. In: *Vision Research* 37.5 (1997), S. 541–552.
- Pircher, Wolfgang. »Gleichschaltungen: Im Takt des Einen«. In: *Kulturtechniken der Synchronisation*. Hrsg. von Christain Kassung und Thomas Macho. München: Wilhelm Fink Verlag, 2013, S. 189–209.
- Poincaré, Henri. *Wissenschaft und Hypothese*. Leipzig: B. G. Teubner, 1904 [1902].
- Pold, Søren Bro. »Interface Perception: The Cybernetic Mentality and Its Critics: Übermorgen.com«. In: *Interface Criticism: Aesthetics Beyond Buttons*. Hrsg. von Christian Ulrik Andersen und Søren Bro Pold. Aarhus: Aarhus University Press, 2011.
- Popplow, Laura und Lasse Scherffig. »Locative Arts – Neue Erzählung des Raums?«. In: *Locative Media. Medialität und Räumlichkeit – Multidisziplinäre Perspektiven zur Verortung der Medien/Multidisciplinary Perspectives on Media and Locality*. Hrsg. von Regine Buschauer und Katharine S. Willis. Bielefeld: transcript, 2013, S. 277–295.
- Preece, Jennifer, Yvonne Rogers und Helen Sharp. *Interaction Design. Beyond Human-Computer Interaction*. New York, NY: John Wiley & Sons, 2002.
- Press, Larry. »Before the Altair: the history of personal computing«. In: *Communications of the ACM* 36.9 (1993), S. 27–33.
- Prinz, Wolfgang. »Perception and Action Planning«. In: *European Journal of Cognitive Psychology* 9.2 (1997), S. 129–154.
- Putzmann, Lothar Michael. »Orakel: Eine Frage zum Problem Berechenbarkeit und Material«. In: *Code und Material. Exkursionen ins Undingliche*. Hrsg. von Georg Trogemann. Wien und New York, NY: Springer, 2010, S. 116–125.

- Pynchon, Thomas. *Gravity's Rainbow*. New York, NY: Viking Press, 1973.
- *Mason & Dixon*. Reinbek: Rohwohlt, 2001.
- Quiring, Oliver und Wolfgang Schweiger. »Interaktivität – ten years after. Bestandsaufnahme und Analyserahmen«. In: *Medien und Kommunikationswissenschaft* 54 (2006), S. 5–24.
- Rafaeli, Sheizaf. »Interactivity: From new media to communication«. In: *Sage Annual Review of Communication Research: Advancing Communication Science*. Beverly Hills, CA: Sage, 1988, S. 110–134.
- Ramachandran, Vilayanur S. und Stuart M. Anstis. »Displacement thresholds for coherent apparent motion in random dot-patterns«. In: *Vision Research* 23.12 (1983), S. 1719–1721.
- »Perceptual organization in moving patterns«. In: *Nature* 304 (1983), S. 529–531.
- »The perception of apparent motion«. In: *Scientific American* 254 (1986), S. 102–109.
- RAND Corporation. *History and Mission*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 2012. URL: <http://www.rand.org/about/history.html>.
- Redaktion Ubiquity. »An Interview with John Markoff: What the dormouse said«. In: *Ubiquity* (2005), S. 1.
- Redmond, Kent C. und Thomas M. Smith. »Lessons from 'Project Whirlwind'«. In: *IEEE Spectrum* 15.10 (1977), S. 51–59.
- *Project Whirlwind: the history of a pioneer computer*. Bedford, MA: Digital Press, 1980.
- Repp, Bruno H. und Günther Knoblich. »Action Can Affect Auditory Perception«. In: *Psychological Science* 18.1 (2007), S. 6–7.
- Rheinberger, Hans-Jörg. *Experimentalsysteme und epistemische Dinge: Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2006.
- *Historische Epistemologie zur Einführung*. Hamburg: Junius, 2007.
- Rheingold, Howard. *Tools for Thought. The History and Future of Mind-Expanding Technology*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
- Roch, Axel. *Claude E. Shannon: Spielzeug, Leben und die geheime Geschichte seiner Theorie der Information*. Berlin: Gegenstalt, 2009.
- »Die Maus. Von der elektrischen zur taktischen Feuerleitung«. In: *Lab. Jahrbuch 1995/96 für Künste und Apparate*. Köln: Verlag der Buchhandlung Walther König, 1996, S. 166–173.
- Roch, Axel und Bernhard Siegert. »Maschinen, die Maschinen verfolgen: über Claude E. Shannons und Norbert Wiener's Flugabwehrsysteme«. In: *Konfigurationen: zwischen Kunst und Medien*. Hrsg. von Sigrid Schade. München: Fink, 1999.
- Rosenblueth, Arturo, Norbert Wiener und Julian Bigelow. »Behavior, Purpose and Teleology«. In: *Philosophy of Science* 10 (1943), S. 18–24.
- Russel, Stuart und Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3. Aufl. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.

- Schelhowe, Heidi. *Das Medium aus der Maschine. Zur Metamorphose des Computers*. Frankfurt und New York, NY: Campus Verlag, 1997.
- Scherffig, Lasse. »Feedback: Vom Unding zur Sache«. In: *Code und Material: Exkursionen ins Undingliche*. Hrsg. von Georg Trogemann. Wien und New York: Springer, 2010, S. 64–86.
- »\$GPGSV: Satellites in View«. In: *Migrating: Art: Academies*. Hrsg. von Mindaugas Gapševičius. Angoulême, Köln und Vilnius: EESI, KHM und VDA, 2010, S. 258–267.
 - »Ortsbestimmung: Vom Mapping zum Tracing«. In: *Tracing Space*. Hrsg. von Thomas Hawranke und Serge Ecker. Luxembourg: Ballini Pitt & Partners, 2011, S. 5–8.
 - »(ping) pong. Feedback Machines between Computation and Control«. In: *World of the News*. Hrsg. von Christian Ulrik Andersen und Geoff Cox. Berlin und Aarhus: transmediale/reSource for transmedial culture und Digital Aesthetics Research Centre, 2012, S. 4–5.
 - »The Human Being as a Servo. Von Feedback Control zur Kybernetik«. In: *Informatik 2009. Im Fokus das Leben*. Hrsg. von Stefan Fischer, Erik Maehle und Rüdiger Reischuk. Lecture Notes in Informatics – Proceedings. Bonn: GI, 2009, S. 766–776.
 - »Trying to be Cake. Feedbackmaschinen oder: Interaktion als Wiederholen durch Unterbrechen«. In: *Off Topic 3* (2011), S. 30–35.
- Scherffig, Lasse und Georg Trogemann. »Über das Warten beim Rechnen – Synchronisationsstrategien in parallelen und interaktiven Systemen«. In: *Kulturtechniken der Synchronisation*. Hrsg. von Christian Kassung und Thomas Macho. München: Wilhelm Fink Verlag, 2013, S. 231–267.
- Schmidgen, Henning. »Zur Genealogie der Reaktionsversuche in der experimentellen Psychologie«. In: *Instrument – Experiment: historische Studien*. Hrsg. von Christoph Meinel. Berlin und Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 2000, S. 168–179.
- Schmidt, Robert. »Hippocampal Correlation Coding: Phase Precession and Temporal Patterns in CA3 and CA1«. Diss. Humboldt-Universität zu Berlin, 2010.
- Schödlbauer, Albert. *Geodätische Astronomie: Grundlagen und Konzepte*. Berlin: Walter de Gruyter, 2000.
- Schröter, Jens und Alexander Böhnke, Hrsg. *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*. Bielefeld: transcript, 2004.
- Schröter, Jens und Christian Spies. »Interface. Analoges Closed Circuit versus Digitale Interaktivität?« In: *Das Spiel mit dem Medium. Partizipation – Immersion – Interaktion*. Hrsg. von Britta Neitzel und Rolf F. Nohr. Marburg: Schüren Verlag, 2006, S. 104–116.
- Schulte, Joachim. *Wittgenstein. Eine Einführung*. Stuttgart: Reclam, 1989.

- Schumann, Frank. »Embodied Cognitive Science: Is it Part of Cognitive Science? Analysis within a Philosophy of Science Background«. In: *PICS. Publications of the Institute of Cognitive Science 3-2004* (2004). Hrsg. von Kai-Uwe Kühnberger, Peter König und Petra Ludewig.
- Segal, Jérôme. »The Pigeon and the Predictor. Miscarriage of a Cyborg in spite of foundations' support«. In: *American Foundations and Large Scale Research: Construction and Transfer of Knowledge*. Hrsg. von Giuliana Gemelli. CLUEB, 2001, S. 131–157.
- Sekuler, Robert, Allison B. Sekuler und Renee Lau. »Sound alters visual motion perception«. In: *Nature* 385.23 (1997), S. 308.
- Seow, Steven C. »Information Theoretic Models of HCI: A Comparison of the Hick-Hyman Law and Fitts' Law«. In: *Human-Computer Interaction* 20 (2005), S. 315–352.
- Serexhe, Bernhard und Stephan Schwingeler. *ZKM_Gameplay*. Ausstellungskatalog. Karlsruhe, 2013.
- Shannon, Claude E. »Communication in the Presence of Noise«. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 37.1 (1949), S. 10–21.
- Shannon, Claude E. und Warren Weaver. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana und Chicago: University of Illinois Press, 1963.
- Shaw, Jeffrey. »The Legible City. 1988-1991«. In: *Im Buchstabenfeld. Die Zukunft der Literatur*. Hrsg. von Peter Weibel. Graz: Literaturverlag Droschl, 2001, S. 387–398.
- Shergill, Sukhwinder S. u. a. »Two eyes for an eye: the neuroscience of force escalation«. In: *Science* 301 (2003), S. 187.
- Shiffrin, Richard M. und Robert M. Nosofsky. »Seven plus or minus two: A commentary on capacity limitations«. In: *Psychological Review* 101.2 (1994), S. 357–361.
- Shneiderman, Ben. »Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages«. In: *The New Media Reader*. Hrsg. von Noah Wardrip-Fruin und Nick Montfort. New York, NY und London: W. W. Norton & Company, 2001 [1983], S. 486–498.
- Shulgin, Alexei. *Art, Power, and Communication*. Zuletzt abgerufen am 24.08.2014. 1996. URL: <http://www.nettime.org/Lists-Archives/nettime-l-9610/msg00036.html>.
- Simon, Herbert A. »Allen Newell. 1927-1992«. In: *National Academy of Sciences Biographical Memoirs* (1997), S. 139–173.
- Simon, J. Richard und Alan P. Rudell. »Auditory S-R compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing«. In: *Journal of Applied Psychology* 51.3 (1967), S. 300–304.
- Smith, Gillian C. und Phillip Tabor. »The Role of the Artist-Designer«. In: *Bringing Design to Software*. Hrsg. von Terry Winograd. Redding, MA: Addison-Wesley, 1996, S. 37–56.

- Smith, Glenn Gordon und Sinan Olkun. »Why Interactivity Works: Interactive Priming of Mental Rotation«. In: *Journal of Educational Computing Research* 32.2 (2005), S. 93–111.
- Smotherman, Mark. »A sequencing-based taxonomy of I/O systems and review of historical machines«. In: *ACM SIGARCH Computer Architecture News* 17.5 (1989), S. 5–15.
- Soto-Faraco, Salvador, Alan Kingstone und Charles Spence. »Multi-sensory contributions to the perception of motion«. In: *Neuropsychologia* 41 (2003), S. 1847–1862.
- Sperry, Roger W. »Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion.« In: *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 43.6 (1950), S. 482–489.
- »Restoration of vision after crossing of optic nerves and after contralateral transplantation of eye«. In: *Journal of Neurophysiology* 8 (1945), S. 57–69.
- Spindler & Hoyer. *Apparate für psychologische Untersuchungen*. Preisliste. Göttingen, 1908.
- Stry, Christian. *Interaktive Systeme. Software-Entwicklung und Software-Ergonomie*. Braunschweig: Vieweg, 1996.
- Steinman, Robert M., Zygmunt Pizlo und Filip J. Pizlo. »Phi is not beta, and why Wertheimer's discovery launched the Gestalt revolution«. In: *Vision Research* 40 (2000), S. 2257–2264.
- Stephenson, Neal. *In the Beginning... was the Command Line*. New York, NY: William Morrow Paperbacks, 1999.
- Suchman, Lucy. *Plans and Situated Action*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- Sutherland, Ivan E. »Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System.« Diss. Massachusetts Institute of Technology, 1963.
- Svanæs, Dag. »Understanding Interactivity: Steps to a Phenomenology of Human-Computer Interaction.« Diss. Trondheim, Norway: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), 2000.
- Trogemann, Georg. »Code und Material«. In: *Code und Material. Exkursionen ins Undingliche*. Wien und New York: Springer, 2010, S. 15–25.
- Trogemann, Georg, Stefan Göllner und Lasse Scherffig. »UNORTKATASTER: An Urban Experiment Towards Participatory Media Development«. In: *Paradoxes of Interactivity. Perspectives for Media Theory, Human-Computer Interaction, and Artistic Investigation*. Hrsg. von Uwe Seifert, Jin Hyun Kim und Anthony Moore. Bielefeld: transcript, 2008, S. 192–217.
- Trogemann, Georg und Jochen Viehoff. *Code@Art. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*. Wien und New York: Springer, 2005.
- Turing, Alan M. »On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem«. In: *Proceedings of the London Mathematical Society* 2.42 (1936), S. 230–265.

- Turing, Allan M. »Computing Machinery and Intelligence«. In: *Mind* 59 (1950), S. 146–184.
- Ullmer, Brygg und Hiroshi Ishii. »Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces«. In: *Human-Computer Interaction in the New Millennium*. Hrsg. von John M. Carroll. Redding, MA: Addison-Wesley, 2001, S. 579–601.
- Ullmer, Brygg, Hiroshi Ishii und Dylan Glas. »mediaBlocks: Physical Containers, Transports, and Controls for Online Media«. In: *Proceedings of SIGGRAPH*. 1998, S. 379–386.
- Varela, Francisco J., Evan T. Thompson und Eleanor Rosch. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA: MIT Press, 1993 [1991].
- Visell, Yon. »Tactile sensory substitution: Models for enaction in HCI«. In: *Interacting with Computers* 21.1-2 (2009), S. 38–53.
- von Foerster, Heinz. »Epistemologie der Kommunikation«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1980], S. 269–281.
- »Gedanken und Bemerkungen über Kognition«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1970], S. 77–102.
- »Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1970], S. 103–115.
- *KybernEthik*. Berlin: Merve, 1993.
- »Kybernetik einer Erkenntnistheorie«. In: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von Siegfried J. Schmidt. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993 [1973], S. 51–76.
- »Zirkuläre Kausalität. Die Anfänge einer Epistemologie der Verantwortung«. In: *Cybernetics/Kybernetik – The Macy Conferences. Volume I*. Hrsg. von Claus Pias. Berlin und Zürich: Diaphanes, 2003, S. 19–26.
- von Holst, Erich und Horst Mittelstaedt. »Das Reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie)«. In: *Naturwissenschaften* 37.20 (1950), S. 464–476.
- von Schiller, Paul. »Stroboskopische Alternativversuche«. In: *Psychologische Forschung* 17 (1933), S. 179–214.
- Wade, Nicholas J. und Dieter Heller. »Scopes of perception: The experimental manipulation of space and time«. In: *Psychological Research* 60.4 (1997), S. 227–237.
- Walker, John. »Through the looking glass«. In: *The Art of Human-Computer Interface Design*. Redding, MA: Addison-Wesley, 1990, S. 439–448.
- Wegner, Peter. »Why interaction is more powerful than algorithms«. In: *Communications of the ACM* 40.5 (1997), S. 80–91.
- Weiser, Mark. »The Computer for the 21st Century«. In: *Scientific American* 265.3 (1991), S. 94–104.

- Weizenbaum, Joseph. *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1977.
- Wel, Robrecht van der, Natalie Sebanz und Günther Knoblich. »Action perception from a common coding perspective«. In: *People Watching: Social, Perceptual, and Neurophysiological Studies of Body Perception*. Hrsg. von Kerri L. Johnson und Maggie Shiffrar. Oxford: Oxford University Press, 2013.
- Wertheimer, Max. »Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung«. In: *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 61 (1912), S. 161–265.
- »Was ist, was will Gestalttheorie?«. In: *Philosophische Zeitschrift für Forschung und Aussprache* 1 (1925), S. 39–60.
- Wexler, Mark und Jeroen A. van Boxtel. »Depth perception by the active observer«. In: *Trends in Cognitive Sciences* 9 (2005), S. 431–438.
- White, Benjamin M. u. a. »Seeing with the skin«. In: *Perception and Psychophysics* 7.1 (1970), S. 23–27.
- Wiener, Norbert. *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2. Aufl. Cambridge, MA: MIT Press, 1961 [1948].
- *I am a mathematician. The later life of a prodigy*. Garden City, NY: Doubleday, 1956.
- *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society*. New York, NY: Avon Books, 1967 [1950].
- Wieser, C. R. *Cape Cod System and Demonstration*. Techn. Ber. Cambridge, MA: Lincoln Laboratory – Division 6, 1953.
- Wiesing, Lambert. »Einleitung: Philosophie der Wahrnehmung«. In: *Philosophie der Wahrnehmung*. Hrsg. von Lambert Wiesing. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2002, S. 9–64.
- Winograd, Terry. »From Computing Machinery to Interaction Design«. In: *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing*. Hrsg. von Peter Denning und Robert Metcalfe. Berlin: New York, NY, 1997, S. 149–162.
- »Shifting viewpoints: Artificial intelligence and human–computer interaction«. In: *Artificial Intelligence* 170 (2006), S. 1256–1258.
- Winograd, Terry und Fernando Flores. *Erkenntnis – Maschinen – Verstehen*. Berlin: Rotbuch Verlag, 1989.
- *Understanding Computers and Cognition. A New Foundation for Design*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Co., 1986.
- Wittgenstein, Ludwig. *Logisch-philosophische Abhandlung. Tractatus logico-philosophicus*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 2003 [1922].
- Wohlschläger, Andreas. »Visual motion priming by invisible actions«. In: *Vision Research* 40 (2000), S. 925–930.
- Wundt, Wilhelm. *Grundzüge der physiologischen Psychologie*. Leipzig: Engelmann, 1874.

Yabe, Yoshiko und Gentaro Taga. »Treadmill locomotion captures visual perception of apparent motion«. In: *Experimental Brain Research* 191.4 (2008), S. 487–494.

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe.

Köln, 21. Oktober 2014

Lasse Scherffig

LEBENS LAUF

LASSE SCHERFFIG ist seit Juli 2015 Assistant Professor für Kunst und Technologie am San Francisco Art Institute. Im Sommersemester 2013 war er Gastprofessor für Gestaltung medialer Umgebungen an der Bauhaus-Universität Weimar, von Juli 2006 bis Juni 2012 künstlerisch-wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Kunsthochschule für Medien Köln, sowie von März 2004 bis Dezember 2005 Stipendiat am Zentrum für Kunst und Medientechnologie in Karlsruhe. Er studierte Kognitionswissenschaft an der Universität Osnabrück und der State University of New York, Oswego, USA (1999-2002, B.Sc.), sowie Digitale Medien an der Universität Bremen und der Zürcher Hochschule der Künste (2002-2005, M.Sc.).

Er ist Mitbegründer der Künstlergruppe Paidia Institute (seit 2009). Seine künstlerische Arbeit wurde in zahlreichen Ausstellungen gezeigt, unter anderem am Nam June Paik Art Center (2016-2017), der Berliner Akademie der Künste (2014), auf der Transmediale (2012), am National Art Museum of China (2011) und am ZKM (2004-2005, 2006, 2013-2015 und 2016). Seine wissenschaftliche Arbeit wurde in Fachzeitschriften, Sammelbänden und Konferenz-Proceedings publiziert.